

## بررسی تأثیر مقدار و اندازه ذرات گچ بر عملکرد آن در اصلاح خاک‌های شور و سدیمی

فاطمه کریمی: دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده‌ی منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان

رضا قضاوی\*: استاد گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده‌ی منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان

ابراهیم امیدوار: استادیار گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده‌ی منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۴/۱۶

تاریخچه‌ی مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۲/۲۷)

DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.2.6.6

### چکیده

شور و سدیمی شدن خاک، از جنبه‌های مهم تخریب اراضی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌شمار می‌رود. این خاک‌ها از نظر فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی وضعیت مناسبی ندارند؛ از این رو، اصلاح خاک-های شور و سدیمی با استفاده از اصلاح‌کننده‌های خاک امری ضروری است. در این تحقیق، تأثیر مقدار و سایز ذرات گچ در اصلاح خاک با درجه‌ی شور و سدیمی کم تا متوسط بررسی شد. این مطالعه در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل تیمار شاهد، گچ با مقدار مختلف (۵، ۷/۵، ۱۰، ۲۵ و ۵۰ گرم گچ در هر کیلوگرم خاک) و گچ با اندازه قطر ذرات مختلف (۳۵، ۶۰، ۱۰ و ۵ مش معادل ۰/۲۵، ۰/۵، ۲ و ۴ میلی‌متر) بود. تیمارها در دو عمق مختلف خاک (۱۵- و ۳۰-۱۵ سانتی‌متر) انجام شد. در این مطالعه پس از اجرای تیمارها، میزان آب مورد نیاز برای آب‌شویی خاک تیمار نشده بر اساس رابطه به دست آمد و خاک تیمار شده و شاهد در شرایط اشباع، طی شش مرحله آب‌شویی شد. نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از گچ با اندازه ذرات ۰/۵ میلی‌متر و با مقدار ۷/۵ گرم گچ در یک کیلوگرم خاک (معادل ۱۱ تن در هکتار تا عمق ۱۰ سانتی‌متری، ۱۶/۸۵ تن در هکتار تا عمق ۱۵ سانتی‌متری و ۳۳/۷ تن در هکتار تا عمق ۳۰ سانتی‌متری)، مناسب‌ترین مقدار گچ برای اصلاح خاک‌های شور و سدیمی کم تا متوسط است که پس از سه مرحله آب‌شویی، بهترین عملکرد را نشان می‌دهد. استفاده از این میزان گچ، آب مورد نیاز برای آب‌شویی خاک را برای دست‌یافتن به ESP مناسب تا حدود ۵۰ درصد کاهش می‌دهد.

واژگان کلیدی: آب‌شویی، اصلاح خاک، املاح خاک، تیمار گچ، خاک شور و سدیمی، کاشان.

### ۱- مقدمه

خاک‌های شور و سدیمی که درصد سدیم تبادلی، pH، نسبت جذب سدیم بالا و حاصل‌خیزی کمی دارد، در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا به صورت وسیعی گسترش یافته‌است (Sung-son et al, 2020). حدود ۹۵۵ میلیون هکتار از اراضی دنیا به اراضی شور و سدیمی اختصاص دارد (Pandey et al, 2011 & Sung-son et al, 2020). اراضی شور و سدیمی مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران نیز وسعت قابل‌توجهی دارد. به طور کلی در کشور مساحت خاک‌های با

درجه شوری و سدیمی کم و متوسط، ۲۵/۵ میلیون هکتار و مساحت خاک‌های با درجه شوری و سدیمی زیاد نیز ۸/۵ میلیون هکتار محاسبه شده است (Vafae et al, 2019). وجود سدیم با مقادیر بالا در خاک به تخریب ساختمان خاک،

افزایش رواناب سطحی و فرسایش خاک، و کاهش نفوذپذیری، تهویه و حرکت آب در خاک منجر می‌شود (Franzen and Richardson, 2000). فرسایش خاک و بیابانی شدن، جزء فرآیندهایی است که منابع خاک و آب کشور را به طور مستقیم و غیرمستقیم به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. با وجود اینکه فرسایش خاک و بیابانی شدن، هر دو جزء پدیده‌های طبیعی است و جلوگیری از شکل‌گیری آنها امکان‌پذیر نیست، ولی امکان کاهش شدت و سرعت این فرایندها وجود دارد (Li and Zhang, 2021)؛ بنابراین، اصلاح خاک‌های شور و سدیمی از نظر حفاظت منابع آب و بهره‌برداری پایدار از خاک‌های شور و سدیمی اهمیت زیادی دارد (Tanji, 1990). برای رفع مشکلات این خاک‌های شور و سدیمی، باید خصوصیات نامناسب فیزیکی و شیمیایی این نوع خاک‌ها اصلاح شود (Gangwer, 2020).

به منظور اصلاح خاک‌های شور، آب‌شویی یک روش و راه‌حل مناسب به حساب می‌آید، اما اصلاح خاک‌های سدیمی مشکل‌تر است. برای اصلاح خاک‌های شور و سدیمی از گچ، اسیدسولفوریک و گوگرد و در مواردی از کودهای حیوان استفاده می‌شود که عملکرد این مواد بر اساس شرایط محیطی و نوع خاک متفاوت است (Jesus et al, 2019 & Kianiyan et al, 2019). اغلب از گچ صنعتی به دلیل حفظ سطح الکترولیت، اصلاح خصوصیات فیزیکی و هیدرولیکی (Keren, 1996)، هزینه‌ی کم، داشتن قابلیت انحلال و سهولت مصرف، برای اصلاح خاک‌های شور و سدیمی استفاده می‌شود (Amezketta et al, 2005). استفاده از گچ در خاک‌های شور و سدیمی، نسبت جذب سدیم (SAR)، درصد سدیم تبدلی (ESP) و pH را کاهش می‌دهد (Lebron et al, 2002). طی تحقیقی در زمینه‌ی اصلاح این نوع خاک‌ها در ایالات کالیفرنیا، آمریکا، کاربرد گچ و گوگرد در کاهش سدیم خاک شور و سدیمی تأثیر زیادی دارد (Kelley et al, 1951). کاربرد گچ، درصد سدیم تبدلی خاک‌های شور و سدیمی را کاهش و مقدار نفوذ و زه‌آب خروجی را افزایش می‌دهد (Mann et al, 1982). سدیم تبدلی، جایگزین کلسیم موجود در گچ شده‌است و با تولید سولفات سدیم، به صورت محلول توسط آب‌شویی از خاک خارج می‌شود (Muya and Macharia, 2005 & Rengasamy, 1997). همچنین اندازه‌ی ذرات گچ می‌تواند کارایی گچ را تحت تأثیر قرار دهد. Abdel-Fattah و همکاران (۲۰۱۵)، طی آزمایشی تأثیر ماده‌ی اصلاح‌کننده‌ی گچ با اندازه قطر ذرات مختلف را بر اصلاح خاک‌های شور و سدیمی بررسی کردند. آنها با استفاده از گچ در سه اندازه‌ی متفاوت ( $< 0.5$ ،  $1-0.5$  و  $2-1$  میلی‌متر) دریافتند که استفاده از گچ با اندازه ذره‌ی ریزتر نسبت به ذرات درشت گچ، عملکرد بهتری دارد و می‌تواند شوری و سدیم خاک را به میزان بیشتری کاهش دهد.

تأثیر محتوای گچ در حفظ آب خاک و میزان نگهداشت آب، در دره‌ی ایبرو اسپانیا بررسی شده‌است (Morete and Hiro, 2015). نتایج این مطالعه نشان داد که محتوای گچ خاک بر میزان نگهداشت آب تأثیر معنی‌داری دارد؛ یعنی هر قدر محتوای گچ بالا باشد، منحنی نگهداشت آب خاک نیز دامنه‌ی تندتری دارد و خاک مقدار آب بیشتری در خود ذخیره می‌کند. Zaka و همکاران (۲۰۱۸) طی تحقیقی، اثربخشی کمپوست و گچ را بر بهبود وضعیت خاک‌های شور و سدیمی در سیستم برداشت تناوبی برنج و گندم مطالعه کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد گچ و کمپوست ۲۰ تن در هکتار، عملکرد برنج و دانه‌ی گندم را به طور معنی‌داری افزایش می‌دهد. Day و همکاران (۲۰۱۸)، از سنگ گچ، لانگ‌بینیت، گوگرد و کمپوست برای احیای خاک‌های شور و سدیمی در جنوب و مرکز وایومینگ

استفاده کردند. نتایج پژوهش آنها بیانگر این موضوع بود که گوگرد و کمپوست بر کاهش سدیم تأثیری ندارد، ولی بهترین تیمار برای اصلاح این نوع خاک، لانگ بینیت است. با توجه به کمیت و کیفیت منابع آب، رشد جمعیت و گسترده‌گی خاک‌های شور و سدیمی به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک دنیا، پیشگیری و مقابله با شور و سدیمی شدن خاک‌ها و اصلاح آنها امری ضروری به نظر می‌رسد (Noori et al, 2021). از طرفی، کاهش مقدار آب مورد نیاز به منظور آب‌شویی املاح محلول خاک، از مهم‌ترین اقدامات برای اصلاح خاک شور و سدیمی است (Noori et al, 2021 & Corwin et al, 2007). در عملیات آب‌شویی و اصلاح خاک‌های شور و سدیمی، به مقدار آب زیادی نیاز است؛ به همین منظور، تعیین مقدار آب مورد نیاز به دلیل بحران کم‌آبی و حفاظت منابع آب اهمیت ویژه‌ای دارد (Zheli et al, 2021). بنابراین، در این تحقیق سعی شده‌است تأثیر ماده‌ی اصلاح‌کننده‌ی گچ با مقدار و اندازه ذرات مختلف، بر میزان آب مورد نیاز برای آب‌شویی خاک‌های با درجه شوری کم تا متوسط بررسی شود. به طور کلی، اهداف اصلی این تحقیق عبارتند از: تعیین اندازه‌ی بهینه‌ی ذرات گچ برای آب‌شویی با حداقل آب، تعیین مقدار بهینه‌ی گچ برای آب‌شویی با حداقل آب، و حداقل آب مورد نیاز برای آب‌شویی خاک‌های شور و سدیمی.

## ۲- منطقه‌ی مورد مطالعه

این مطالعه در قالب کار آزمایشگاهی، در آزمایشگاه آب و خاک دانشکده‌ی منابع طبیعی و علوم زمین دانشگاه کاشان انجام شد. نمونه خاک مورد نیاز برای اجرای این مطالعه، از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری زمین‌های کشاورزی اطراف شهرستان کاشان جمع‌آوری شد و به آزمایشگاه انتقال یافت.

## ۳- مواد و روش

### ۳-۱- نمونه‌برداری و آماده‌سازی اولیه‌ی خاک

برای آماده‌سازی خاک، ابتدا نمونه خاک در معرض هوای آزاد قرار گرفت. پس از خشک شدن، کلوخه‌های موجود در این نمونه‌ها با استفاده از چکش پلاستیکی و وردنه‌ی مخصوص موجود در آزمایشگاه کوبیده شد. در آخر، نمونه خاک کوبیده‌شده از الک دو میلی‌متری عبور داده شد.

تأثیر تیمارهای مقدار و اندازه ذرات گچ در اصلاح خاک با درجه شور و سدیمی کم تا متوسط، در قالب طرح بلوک کامل تصادفی بررسی شد. ابتدا خاک با استفاده از مقادیر مختلف سدیم کلرید، به صورت آزمون و خطا و کنترل شده در آزمایشگاه به یک خاک با درجه‌ی شور و سدیمی کم تا متوسط تبدیل شد. خاک‌های با درصد سدیم تبادلی بین ۱۵ تا ۵۰، در گروه خاک‌های با درجه‌ی شور و سدیمی کم تا متوسط قرار گرفت. خصوصیات شیمیایی نمونه‌ی اولیه و خاک شور و سدیمی شده، در جدول ۱ ارائه شده‌است.

جدول ۱: خصوصیات شیمیایی نمونه‌ی اولیه و شور و سدیمی شده‌ی خاک مورد آزمایش

ESP (meq/lit) <sup>0.5</sup>	SAR (meq/lit) <sup>0.5</sup>	یون‌های خاک (meq/lit)			EC عصاره گل‌اشباع (ds/m)	نوع نمونه
		سدیم	منیزیم	کلسیم		
۸/۹۳	۶/۲۲	۳۸/۶۷	۱۲/۴	۳۲/۴	۶/۴	نمونه‌ی اولیه
۲۱/۳۴	۱۵/۵۶	۹۶/۵۲	۳۹	۱۹	۱۲/۷	نمونه‌ی شور و سدیمی شده

### ۳-۲- اعمال تیمارها و آزمایش‌های آب‌شویی

تیمارهای اعمال شده در این مطالعه شامل تیمار شاهد (بدون اصلاح‌کننده)، گچ با مقادیر مختلف (۵، ۷/۵، ۱۰، ۲۵ و ۵۰ گرم گچ در هر کیلوگرم خاک) و گچ با اندازه قطر ذرات مختلف (۶۰، ۳۵، ۱۰ و ۵ مش معادل ۰/۲۵، ۰/۵، ۲ و ۴ سانتی‌متر) بود. به منظور تعیین خصوصیات شیمیایی خاک قبل از آب‌شویی با گذشت ۴۸ ساعت از اجرای تیمارها، مقداری از خاک تیمار شده آزمایش و خصوصیات شیمیایی آن اندازه‌گیری شد.

### ۳-۳- تعیین مقدار بهینه‌ی گچ

میزان گچ لازم برای کاهش ESP خاک در یک حد معین، می‌تواند از طریق روابط تجربی ارائه شده از جمله رابطه-۱ محاسبه شود (Pizarro Cabello et al, 1978):

$$D = (ESP_i - 0.8 ESP_f) \times CEC \times E \times h \times \rho \quad \text{رابطه‌ی ۱}$$

که در این رابطه،  $D$  مقدار گچ بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب،  $(ESP_i - 0.8 ESP_f)$  تفاوت بین  $ESP$  اولیه و نهایی موردنظر،  $CEC$  ظرفیت تبادل کاتیونی،  $E$  جرم معادل گچ،  $h$  عمق خاک برای اصلاح (سانتی‌متر) و  $\rho$  تراکم خاک بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب است. بنابراین، با توجه به اینکه مقدار گچ مورد نیاز به سایر خصوصیات خاک از جمله بافت، خصوصیات آنیونی و کاتیونی بستگی دارد، در مطالعات متعددی بر تعیین مقدار بهینه‌ی گچ از طریق سعی و خطا و با استفاده از مقادیر مختلف تأکید شده است (Sabir et al, 2007 & Moret-Fernandez et al, 2015 & Emad et al, 2015 & Arnold et al, 2018). Arnold و همکاران (۲۰۱۸)، تأثیر استفاده از چهار میزان گچ (۰، ۵۶۰، ۱۱۲۱ و ۱۶۸۲ کیلوگرم در هکتار) را در بهبود شرایط خاک و میزان محصول بررسی کردند. Sabir و همکاران (۲۰۰۷) نیز تأثیر شش سطح مختلف گچ را بر خصوصیات خاک‌های شور و قلیا و میزان محصول بررسی کرده‌اند. در این مطالعه نیز به منظور تعیین مقدار بهینه‌ی گچ، پنج مقدار مختلف آن (۵، ۷/۵، ۱۰، ۲۵ و ۵۰ گرم گچ در هر کیلوگرم خاک) در سه تکرار، به خاک اضافه و در ستون‌های استوانه‌ای ریخته شد. در تهیه‌ی ستون‌های آزمایشگاهی، از ظروف استوانه‌ای پلی‌اتیلن با قطر ۳۵ و ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر استفاده شد. همچنین به منظور زهکشی ستون‌های آزمایشگاهی، در قسمت کف ظروف استوانه‌ای از فیلتر شنی به ارتفاع ۵ سانتی‌متر استفاده و لوله‌هایی برای خروج آب در همین قسمت نصب شد (شکل ۱). سپس نمونه‌های تیمار شده‌ی خاک به وزن ۱۸ کیلوگرم، داخل ستون‌ها ریخته شد. پس از اشباع کردن همه‌ی نمونه‌های خاک، عمق آب مورد نیاز برای کاهش سدیم تبادلی بر حسب سانتی‌متر با استفاده از رابطه‌ی ۲ محاسبه شد (Pazira, 2011):

$$\frac{Dw}{D_s} = \left[ \frac{EC_i}{5 * -EC_f} + 0.15 \right]$$

رابطه‌ی ۲

در معادله‌ی فوق،  $D_s$  عمق لایه خاک برحسب سانتی‌متر،  $D_w$  عمق خالص آب آب‌شویی برحسب سانتی‌متر، و  $EC_i$  و  $EC_f$  هدایت الکتریکی عصاره‌ی گل اشباع قبل و بعد از آب‌شویی برحسب دسی‌زیمنس بر متر است. اضافه کردن آب و اشباع ستون‌ها در شش مرحله‌ی متوالی انجام شد. ذکر این امر لازم است که در هر یک از مراحل شش-گانه، میزان یک ششم از حجم آب آبیاری محاسبه شده بود. پس از گذشت ۲۴ ساعت از اجرای تیمارها و آب‌شویی آنها، نمونه‌برداری از خاک از دو عمق مختلف (۰-۱۵ و ۱۵-۳۰ سانتی‌متری) صورت گرفت و خصوصیات شیمیایی خاک پس از شش مرحله آب‌شویی اندازه‌گیری شد. در این مرحله بهترین تیمار، تیماری در نظر گرفته شد که بیشترین مقدار خروج املاح را داشته و خاک زیر آن تیمار پس از آب‌شویی، به سدیم تبدیلی کمتری رسیده باشد.

### ۴-۳- تعیین اندازه بهینه‌ی ذرات گچ

در این مرحله، گچ از الک‌های مختلف (۴، ۲، ۰/۵ و ۰/۲۵ میلی‌متری) عبور داده شد تا اندازه ذرات مختلف به دست آید. در ادامه، ذرات با اندازه‌ی مختلف با مقدار بهینه‌ی تعیین شده از مرحله‌ی قبل، به خاک شور و سدیمی اضافه شد. سپس خاک‌های تحت تیمار با سه تکرار در داخل استوانه‌ها ریخته شد و آب‌شویی طی شش مرحله صورت گرفت. پس از پایان آب‌شویی، نمونه‌های خاک از دو عمق (۰-۱۵ و ۱۵-۳۰ سانتی‌متر) برداشت و خصوصیات شیمیایی آن اندازه‌گیری شد.



شکل ۱: مراحل اجرای آزمایش و اعمال تیمارها

### ۳-۵- تعیین دفعات بهینه‌ی آب‌شویی

پس از تعیین مقدار و اندازه بهینه‌ی گچ از دو مرحله‌ی قبل، خاک شور و قلیای تهیه شده با این مقادیر بهینه تیمار شد. سپس نمونه‌های تیمار شده، در شش تکرار و در شش مرحله آب‌شویی شد و پس از هر بار آب‌شویی، یکی از خاک‌های تحت تیمار از چرخه‌ی آب‌شویی خارج و خصوصیات شیمیایی خاک و زه آب خروجی آن اندازه‌گیری شد. در نهایت، خصوصیات خاک و زه آب در طول تکرار شش بار آب‌شویی با هم مقایسه شد تا مشخص شود در کدام مرحله، خاک آب‌شویی شده شرایط بهینه‌ی مورد نظر را داشته‌است.

### ۳-۶- اندازه‌گیری خصوصیات شیمیایی زه‌آب و خاک

هدایت الکتریکی (EC)، توسط دستگاه هدایت‌سنج (Rhoades, 1982)، کلسیم و منیزیم به روش تیتراسیون (Rousta and Enayati, 2019)، سدیم با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتری (Chapman and Pratt, 1978) و SAR و ESP با استفاده از روابط ۳ و ۴ برآورد شد (CIGR, 1999):

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{\frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{2}}} \quad \text{رابطه ی ۳}$$

$$\text{ESP} = \frac{100 (0.01475 \text{ SAR} - 0.0126)}{1 + (0.01475 \text{ SAR} - 0.0126)} \quad \text{رابطه ی ۴}$$

در این روابط، Na بیانگر میزان سدیم به میلی‌اکی‌والان بر لیتر، و Ca و Mg به ترتیب بیانگر میزان کلسیم و منیزیم به میلی‌اکی‌والان بر لیتر است.

### ۷-۳- تجزیه و تحلیل‌های آماری

در این مطالعه به منظور تعیین مقدار مصرف گچ، اندازه بهینه‌ی گچ و حداقل دفعات آب‌شویی، داده‌های به دست آمده از آزمایش‌های خصوصیات شیمیایی خاک با استفاده از روش آنالیز واریانس و مقایسه‌ی میانگین به روش دانکن از نظر آماری تجزیه و تحلیل شد. این تجزیه و تحلیل‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS 19 صورت گرفت.

### ۴- یافته‌ها (نتایج)

#### ۴-۱- تعیین مقدار بهینه‌ی مصرف گچ

جدول ۲، نتایج حاصل از اندازه‌گیری خصوصیات شیمیایی نمونه خاک را بعد از اجرای تیمارهای مصرف گچ با مقادیر مختلف نشان می‌دهد. بر اساس نتایج حاصل، چنانچه مقدار گچ مصرفی کمتر از مقدار مورد نیاز برای اصلاح خاک باشد، به علت کمبود کلسیم، خاک به طور کامل اصلاح نمی‌شود و مقادیر زیادی سدیم بدون اینکه جایگزین کلسیم شود در خاک باقی می‌ماند؛ بنابراین، خاک شور و سدیمی اصلاح نمی‌شود. نتایج به دست آمده از مصرف مقادیر ۱۰، ۲۵ و ۵۰ گرم گچ در هر کیلوگرم خاک نشان داد که هر چه مقدار گچ مصرفی از مقدار گچ مورد نیاز برای اصلاح خاک شور و سدیمی بیشتر باشد، مقدار سدیم بیشتری در فاز تبادلی قرار می‌گیرد و شدت شور و سدیمی خاک بیشتر می‌شود. در نهایت، میزان بهینه گچ برابر ۷/۵ گرم بر کیلوگرم تعیین شد که در این میزان مصرف گچ، میزان ESP به ۱۱/۴۱ رسید که بر اساس هدف در نظر گرفته شده در این مطالعه، حداقل مقدار مورد نیاز بود و خاک از نظر شور و سدیمی بودن، شرایط نسبتاً بی‌خطر داشت.

جدول ۲: میانگین خصوصیات شیمیایی نمونه خاک بعد از اعمال تیمارهای گچ مصرفی

مصرف گچ (g/kg)	EC عصاره گل اشباع (ds/m)	یون‌های خاک (meq/lit)			ESP (meq/lit) <sup>0.5</sup>	SAR (meq/lit) <sup>0.5</sup>
		کلسیم	منیزیم	سدیم		
۵	۱۰/۸	۴۵/۲	۱۶/۸	۷۲/۷۹	۹/۹۴	۱۴/۲۳
۷/۵	۱۲/۰۳	۵۳/۲	۱۸	۶۲/۴۷	۷/۹۲	۱۱/۴۱
۱۰	۱۰/۴۴	۶۳	۱	۶۶/۸۹	۸/۳۹	۱۲/۰۹
۲۵	۱۱	۵۷/۲	۲/۷	۶۸/۱۱	۸/۵۱	۱۲/۲۵
۵۰	۱۴/۴۰	۶۷/۶	۳۰/۴	۹۵/۶۳	۱۰/۵۱	۱۵



نتایج آزمایش این مرحله نشان داد که اگر مقدار گچ استفاده شده برای اصلاح خاک شور و سدیمی مورد مطالعه، کمتر از ۷/۵ گرم گچ در هر کیلوگرم خاک باشد، خاک حالت شور و سدیمی خود را حفظ می‌کند و اگر مقادیر مورد استفاده‌ی گچ از این مقدار بیشتر باشد، شدت شور و سدیمی خاک بیشتر می‌شود. پس به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از گچ برای اصلاح خاک شور و سدیمی با توجه به میزان شوری، مقدار مشخصی دارد که اگر گچ مورد استفاده از این مقدار کمتر یا بیشتر باشد، خاک نه تنها اصلاح نمی‌شود بلکه بیشتر به حالت شور و سدیمی نزدیک می‌شود. برای یک خاک با عمق ۳۰ سانتی‌متر و جرم حجمی ۱/۵ تن در متر مکعب، میزان گچ مورد نیاز حدود ۳/۴ تن در هکتار خواهد بود. البته میزان گچ بر اساس خصوصیات خاک شور و سدیمی و خصوصیات آب مورد استفاده در آب‌شویی، می‌تواند متفاوت باشد. Koo و همکاران در سال ۱۹۹۰ در آزمایش خود، تأثیر سه مقدار مختلف گچ (۰، ۴/۵ و ۹ تن در هکتار) را بر اصلاح یک خاک سدیمی بررسی کردند. آنها پس از تحلیل داده‌های به‌دست آمده از آزمایش‌ها به این نتیجه رسیدند که مقدار گچ ۴/۵ تن در هکتار، بهترین و مؤثرترین تیمار برای اصلاح خاک‌های مورد مطالعه‌ی آنهاست.

#### ۲-۴- تعیین مقدار بهینه‌ی اندازه ذرات گچ

با توجه به نتایج مرحله‌ی قبل در تعیین مقدار بهینه‌ی مصرف گچ، در ادامه‌ی آزمایش‌ها برای تعیین اندازه بهینه‌ی این ذرات، خاک مورد آزمایش با ۷/۵ گرم گچ در هر کیلوگرم خاک در اندازه ذرات مختلف (۰/۲۵، ۰/۵، ۲ و ۴ میلی-متر) تیمار شد و پس از اتمام آب‌شویی، خصوصیات شیمیایی خاک تیمار شده و خاک شاهد برای هر کدام در دو عمق مختلف، محاسبه و تجزیه و تحلیل شد. نتایج آزمون تجزیه‌ی واریانس (جدول ۳) نشان داد که بین مقادیر کلسیم، منیزیم، هدایت الکتریکی و ESP، هم در تیمارهای مختلف اندازه ذرات گچ و هم در دو عمق مختلف، اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد وجود داشت. همچنین بین مقادیر SAR در تیمارهای مختلف، اندازه ذرات در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری داشت؛ اما در عمق، اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد مشاهده نشد. سایر نتایج نشان داد که بین مقادیر سدیم در تیمارهای مختلف اندازه ذرات و دو عمق خاک، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشده‌است.

جدول ۳: نتایج آزمون تجزیه‌ی واریانس برای خصوصیات شیمیایی خاک در تیمارهای مختلف اندازه ذرات گچ

معنی‌داری	F	مجموع مربعات	درجه آزادی	منابع	خصوصیات شیمیایی
۰/۰۰۰	۹۷/۴۷	۱۹۶۸/۳۰	۱	عمق	کلسیم
۰/۰۰۰	۱۰/۵۶	۲۱۳/۲۶	۴	تیمار	
۰/۰۰۰	۱۰۹/۶۰	۴۵۰۱/۸۷	۱	عمق	منیزیم
۰/۰۳	۵/۴۰	۲۲۱/۷۴	۴	تیمار	
۰/۴۸	۰/۵۱	۳/۸۲	۱	عمق	سدیم
۰/۳۳	۱/۲۲	۹/۰۷	۴	تیمار	
۰/۰۰۷	۸/۹۲	۱/۴۰	۱	عمق	EC
۰/۰۰۰	۱۴/۷۹	۲/۳۱	۴	تیمار	
۰/۱۵۳	۲/۱۶	۰/۵۸	۱	عمق	SAR
۰/۰۰۰	۱۱/۱۹	۲/۹۶	۴	تیمار	
۰/۰۱۵	۶/۹۶	۲/۹۳	۱	عمق	ESP
۰/۰۰۰	۳۷/۰۶	۱۵/۶۰	۴	تیمار	

پس از معنی‌دار شدن آزمون ANOVA، به مقایسه‌ی میانگین خصوصیات شیمیایی خاک در هر یک از تیمارهای مختلف اندازه ذرات گچ پرداخته شد که نتایج آن در جدول ۴ ارائه شده‌است. نتایج به‌دست آمده از آزمون دانکن نشان داد که مقدار کلسیم، منیزیم، هدایت الکتریکی و SAR عصاره گل اشباع تیمار شاهد، نسبت به سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت ( $P < 0.05$ )؛ اما تیمارهای اندازه مختلف ذرات گچ، از نظر این خصوصیات اختلاف معنی‌داری با هم نداشت.

مقدار سدیم محاسبه شده برای هر کدام از تیمارها نیز با استفاده از آزمون دانکن در سطح معنی‌داری ۵ درصد ارزیابی شد. نتایج به‌دست آمده حاکی از آن بود که سدیم موجود در نمونه‌ی شاهد و سایر تیمارها، اختلاف معنی‌داری ندارند.

در انتها، مقدار ESP - که در طبقه‌بندی خاک‌های شور و سدیمی، بیشترین اهمیت را دارد - بررسی و تجزیه و تحلیل شد. با توجه به نتایج (جدول ۴)، بیشترین مقدار ESP مربوط به تیمار شاهد و کمترین مقدار آن، مربوط به تیمار گچ با اندازه ذرات ۰/۵ میلی‌متر است. این یافته نشان می‌دهد که بهینه‌ترین اندازه ذرات گچ برای اصلاح خاک‌های شور و سدیمی مورد مطالعه، اندازه ذرات بین ۰/۲۵ تا ۰/۵ میلی‌متر بوده‌است.

جدول ۴: مقایسه‌ی میانگین خصوصیات شیمیایی نمونه خاک در تیمارهای مختلف عمق و اندازه ذرات گچ با استفاده از روش دانکن

اندازه ذرات (mm)				تیمار شاهد	عمق خاک (cm)	خصوصیات شیمیایی
۴	۲	۰/۵	۰/۲۵			
۳/۵۷	۳/۴۶	۳/۲۲	۳/۰۹	۲/۳۵	۰-۱۵	EC (ds/m)
۴/۰۱	۳/۵۱	۳/۲۸	۴/۲۶	۲/۱۸	۱۵-۳۰	
۳/۷۹ <sup>a</sup>	۳/۴۹ <sup>a</sup>	۳/۲۵ <sup>a</sup>	۳/۶۸ <sup>a</sup>	۲/۲۶ <sup>b</sup>	۰-۳۰	
۱۲۴	۱۳۶	۱۱۸	۱۰۶	۴۲	۰-۱۵	کلسیم (meq/lit)
۴۰	۴۰	۵۶	۴۶	۲۰	۱۵-۳۰	
۸۲ <sup>a</sup>	۸۸ <sup>a</sup>	۸۷ <sup>a</sup>	۷۶ <sup>a</sup>	۳۱ <sup>b</sup>	۰-۳۰	
۵۱/۵۲	۴۸/۶۴	۴۴/۴۴	۵۷/۲	۵۲/۴۸	۰-۱۵	سدیم (meq/lit)
۴۶	۶۲/۶	۵۱/۶۸	۶۲	۵۱/۹۲	۱۵-۳۰	
۴۸/۷۶ <sup>n.s</sup>	۵۵/۶۲ <sup>n.s</sup>	۴۸/۰۶ <sup>n.s</sup>	۵۹/۶ <sup>n.s</sup>	۵۵/۲ <sup>n.s</sup>	۰-۳۰	
۴۰	۱۶	۴۲	۴۲	۳۰	۰-۱۵	منیزیم (meq/lit)
۱۴۶	۱۳۴	۱۳۶	۱۷۲	۵۴	۱۵-۳۰	
۹۳ <sup>a</sup>	۷۵ <sup>a</sup>	۸۹ <sup>a</sup>	۱۰۷ <sup>a</sup>	۴۲ <sup>b</sup>	۰-۳۰	
۸/۴	۸	۸	۱۰/۴	۱۵/۶	۰-۱۵	SAR <sup>0.5</sup> (meq/lit)
۱۰	۱۲	۹/۲	۱۰/۸	۱۵/۲	۱۵-۳۰	
۹/۲ <sup>b</sup>	۱۰ <sup>b</sup>	۸/۶ <sup>b</sup>	۱۰/۶ <sup>b</sup>	۱۵/۴ <sup>a</sup>	۰-۳۰	
۱۰	۸/۸	۸/۴	۱۲/۸	۲۴/۸	۰-۱۵	ESP <sup>0.5</sup> (meq/lit)
۱۳/۶۲	۱۱/۲	۹/۶	۱۳/۲	۲۶/۸	۱۵-۳۰	
۱۱/۸۱ <sup>bc</sup>	۱۰ <sup>bc</sup>	۹ <sup>c</sup>	۱۳ <sup>b</sup>	۲۵/۸ <sup>a</sup>	۰-۳۰	

نتایج آزمایش‌های انجام شده به منظور تعیین اندازه بهینه‌ی ذرات گچ برای عملکرد بهتر روی اصلاح خاک شور و سدیمی، بیانگر این موضوع بود که اندازه‌ی ذره‌ی گچ اگر خیلی ریز (کمتر از ۰/۲۵ میلی‌متر) باشد، توسط آب‌شویی از خاک خارج می‌شود و در فاز تبادلی قرار نمی‌گیرد؛ اما اندازه ذرات بین ۰/۵ تا ۰/۲۵ میلی‌متر، بهترین عملکرد را نسبت به اندازه ذرات درشت‌تر (۲ و ۴ میلی‌متر) دارد. کلسیم موجود در گچ، جایگزین سدیم خاک شده‌است و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های شور و سدیمی را بهبود می‌بخشد. از گچ به دلیل هزینه‌ی کم، سهولت مصرف و قابلیت انحلال، برای اصلاح خاک‌های شور و سدیمی استفاده می‌شود. اندازه ذرات گچ نیز تأثیر به‌سزایی در عملکرد گچ برای اصلاح خاک شور و سدیمی دارد. طبق تحقیق انجام شده توسط Abdel-Fattah و همکاران (۲۰۱۵)، ذرات گچ با اندازه ذرات کمتر از ۰/۵ میلی‌متر، در اصلاح خاک شور و سدیمی بیشترین تأثیر را دارد.

#### ۳-۴- تعیین تعداد بهینه دفعات آب‌شویی (تیمار گچ)

آزمایش‌های انجام شده در مراحل قبل، مقدار بهینه‌ی گچ و اندازه بهینه‌ی ذره‌ی گچ را نشان داد. در این بخش و در ادامه‌ی تحقیق با استفاده از مقدار بهینه‌ی تعیین شده (۷/۵ گرم در کیلوگرم) و اندازه بهینه‌ی تعیین‌شده‌ی ذره‌ی گچ (۰/۵ میلی‌متر)، تأثیر هر مرحله آب‌شویی روی خاک در دو عمق (۱۵-۳۰ و ۰-۱۵) بررسی شد. نتایج آزمون تجزیه‌ی واریانس در جدول ۵ نشان می‌دهد که بین مقادیر کلسیم، سدیم، هدایت الکتریکی، SAR و ESP هم در آب‌شویی‌های مختلف و هم در دو قسمت سطحی و عمقی خاک اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد مشاهده شده‌است. مقادیر منیزیم

در آب‌شویی‌های مختلف، اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد ندارد؛ اما در دو عمق مختلف، اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد وجود دارد.

جدول ۵: نتایج آزمون تجزیه واریانس برای خصوصیات شیمیایی خاک در تیمار گچ با مقدار و اندازه بهینه در عمق و دفعات آب‌شویی مختلف....

معنی‌داری	F	مجموع مربعات	درجه آزادی	منابع	خصوصیات شیمیایی
۰/۰۳۳	۵/۰۸	۵۸/۱۴	۱	عمق	کلسیم
۰/۰۰۰	۶/۶۸	۷۶/۵۲	۵	آب‌شویی	
۰/۰۰۰	۲۲/۱۵	۴۳۰/۵۶	۱	عمق	منیزیم
۰/۸۸۶	۰/۳۴	۶/۵۶	۵	آب‌شویی	
۰/۰۰۰	۲۳/۵۷	۴۹۰/۱۴	۱	عمق	سدیم
۰/۰۰۰	۸/۲۳	۱۷۱/۲۳	۵	آب‌شویی	
۰/۰۰۰	۶۸/۱۳	۱۰/۳۲	۱	عمق	EC
۰/۰۰۰	۱۹/۶۰	۲/۹۷	۵	آب‌شویی	
۰/۰۰۰	۲۰/۶۶	۱۱/۸۳	۱	عمق	SAR
۰/۰۰۰	۷/۰۳	۴/۰۳	۵	آب‌شویی	
۰/۰۰۰	۲۱/۲۸	۳۱/۱۹	۱	عمق	ESP
۰/۰۰۰	۷/۱۴	۱۰/۴۷	۵	آب‌شویی	

پس از معنی‌دار شدن آزمون ANOVA، میانگین خصوصیات شیمیایی خاک در هر یک از آب‌شویی‌ها مقایسه شد (جدول ۶). نتایج به دست آمده از آزمون دانکن نشان داد که مقدار کلسیم، سدیم، هدایت الکتریکی، SAR و ESP عصاره‌ی گل اشباع، پس از هر مرحله آب‌شویی اختلاف معنی‌داری داشت ( $P < 0.05$ )، ولی میزان منیزیم موجود در نمونه‌های عصاره‌ی گل اشباع پس از هر آب‌شویی اختلاف معنی‌داری نشان نداد ( $P < 0.05$ ).

در انتها، مقدار ESP - که در طبقه‌بندی خاک‌های شور و سدیمی بیشترین اهمیت را دارد - بررسی و تجزیه و تحلیل شد. بر اساس نتایج، کمترین مقدار ESP مربوط به عصاره‌ی گل اشباع پس از چهار مرحله آب‌شویی است؛ بنابراین، بهترین آب‌شویی برای تیمار خاک شور و سدیمی مورد مطالعه، استفاده از گچ با اندازه و مقدار مشخص شده است که به آب‌شویی چهارم بازمی‌گردد.

#### ۴-۴- تأثیر تیمار گچ بر خصوصیات خاک در عمق‌های مختلف

در این مرحله از مطالعه، تأثیر مقدار و اندازه بهینه‌ی گچ بر خصوصیات خاک در قسمت سطحی و عمقی بررسی شد. به این منظور، از خاک آب‌شویی شده پس از هر بار آب‌شویی نمونه‌برداری شد.

نتایج آزمون تجزیه واریانس داده‌های اندازه‌گیری شده نیز در جدول ۹ نشان داده شده است. بر اساس نتایج، بین مقادیر کلسیم، منیزیم، هدایت الکتریکی، SAR و ESP در دو تیمار گچ و شاهد اختلاف معنی‌داری مشاهده شد ( $P < 0.01$ ). مقدار سدیم در قسمت عمقی دو تیمار شاهد و تیمار گچ نیز با مقدار و اندازه بهینه اختلاف معنی‌داری ( $P < 0.05$ ) داشت؛ اما در قسمت سطحی، تیمار گچ و تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری نداشت ( $P < 0.05$ ).

جدول ۶: مقایسه‌ی میانگین خصوصیات شیمیایی نمونه خاک در تیمار گچ با مقدار و اندازه ذره گچ بهینه در عمق و مراحل آب‌شویی مختلف با استفاده از روش دانکن

مراحل آب‌شویی						عمق خاک (cm)	خصوصیات شیمیایی
ششم	پنجم	چهارم	سوم	دوم	اول		
۳/۱۶	۲/۹۶	۳/۷۸	۳/۴۷	۳/۵۶	۴/۱۵	۰-۱۵	(ds/m) EC
۳/۸۱	۳/۸۲	۴/۰۳	۴/۶۵	۴/۷۴	۶/۴۷	۱۵-۳۰	
۳/۴۹ <sup>c</sup>	۳/۳۹ <sup>c</sup>	۳/۹۰ <sup>bc</sup>	۴/۰۶ <sup>b</sup>	۴/۱۵ <sup>b</sup>	۵/۳۰ <sup>a</sup>	۰-۳۰	
۱۱۷	۱۲۶	۱۴۲	۱۴۴	۱۴۲	۱۵۲	۰-۱۵	کلسیم (meq/lit)
۹۶	۱۲۲	۱۴۲	۱۴۰	۱۴۰	۱۲۲	۱۵-۳۰	
۱۰۶/۵ <sup>c</sup>	۱۲۴ <sup>b</sup>	۱۴۲ <sup>a</sup>	۱۴۲ <sup>a</sup>	۱۴۱ <sup>a</sup>	۱۳۷ <sup>ab</sup>	۰-۳۰	
۴۲/۳۸	۴۶/۱۹	۴۹/۱۴	۵۰/۸۵	۴۹/۶۷	۵۹/۶۸	۰-۱۵	سدیم (meq/lit)
۴۷/۵۱	۵۰/۶۱	۵۴/۸۰	۸۴/۳۰	۹۲/۹	۱۴۴/۹۲	۱۵-۳۰	
۴۴/۹۵ <sup>c</sup>	۴۸/۴۰ <sup>bc</sup>	۵۱/۹۸ <sup>bc</sup>	۶۷/۵۸ <sup>bc</sup>	۷۱/۳۰ <sup>b</sup>	۱۰۲/۳۰ <sup>a</sup>	۰-۳۰	
۳۰	۳۴	۵۲	۴۸	۵۲	۴۶	۰-۱۵	منیزیم (meq/lit)
۹۶	۷۶	۶۸	۵۴	۶۲	۷۲	۱۵-۳۰	
۶۳ <sup>n.s</sup>	۵۵ <sup>n.s</sup>	۶۰ <sup>n.s</sup>	۵۱ <sup>n.s</sup>	۵۷ <sup>n.s</sup>	۵۹ <sup>n.s</sup>	۰-۳۰	
۷/۳۸	۷/۷۳	۷/۵۹	۷/۸۵	۷/۶۷	۹/۰۲	۰-۱۵	(meq/lit) <sup>0.5</sup> SAR
۸/۰۲	۸	۸/۲۶	۱۳/۰۴	۱۴/۳۷	۲۳/۰۸	۱۵-۳۰	
۷/۷۰ <sup>c</sup>	۷/۸۷ <sup>bc</sup>	۷/۹۳ <sup>bc</sup>	۱۰/۴۵ <sup>bc</sup>	۱۱/۰۲ <sup>b</sup>	۱۶/۰۵ <sup>a</sup>	۰-۳۰	
۷/۷۷	۸/۳۶	۸/۱۱	۸/۵۶	۸/۲۵	۱۰/۵۳	۰-۱۵	(meq/lit) <sup>0.5</sup> ESP
۸/۸۳	۸/۸۲	۹/۲۵	۱۷/۱۵	۱۹/۲۳	۳۲/۹۶	۱۵-۳۰	
۸/۳ <sup>c</sup>	۸/۵۹ <sup>bc</sup>	۸/۶۸ <sup>bc</sup>	۱۲/۸۵ <sup>bc</sup>	۱۳/۷۴ <sup>b</sup>	۲۱/۷۵ <sup>a</sup>	۰-۳۰	

جدول ۹: نتایج آزمون تجزیه‌ی واریانس خصوصیات شیمیایی خاک در قسمت سطحی و عمقی خاک در دو تیمار مختلف گچ و شاهد

معنی‌داری	F	مجموع مربعات	درجه آزادی	منابع	خصوصیات شیمیایی
۰/۰۰۰	۱۶/۸۹۰	۶۴/۵۶۳	۱	تیمار سطحی	کلسیم
۰/۰۰۰	۸۳/۲۰۶	۱۰۵۶/۲۵۰	۱	تیمار عمقی	
۰/۰۰۰	۲۸/۰۸۹	۱۸۵/۶۴۱	۱	تیمار سطحی	منیزیم
۰/۰۰۰	۵۱/۱۹۴	۱۲۵۱/۳۹۱	۱	تیمار عمقی	
۰/۷۱۳	۰/۱۳۹	۰/۲۸۴	۱	تیمار سطحی	سدیم
۰/۰۲۳	۵/۸۱۸	۹۸/۶۷۱	۱	تیمار عمقی	
۰/۰۰۰	۱۳/۷۸۳	۱۹۲/۰۷۳	۱	تیمار سطحی	EC
۰/۰۰۰	۵۷/۷۸۱	۱۰/۶۸۵	۱	تیمار عمقی	
۰/۰۰۰	۹۳/۸۷۹	۱۰/۷۹۱	۱	تیمار سطحی	SAR
۰/۰۰۰	۲۹/۶۴۸	۹۵/۸۴۶	۱	تیمار عمقی	
۰/۰۰۰	۲۹/۶۴۸	۹۵/۸۴۶	۱	تیمار سطحی	ESP
۰/۰۰۰	۵۲/۱۵۳	۵۹/۵۲۱	۱	تیمار عمقی	

با توجه به معنی دار شدن آزمون ANOVA، میانگین خصوصیات شیمیایی خاک در دو عمق مقایسه شد. نتایج به- دست آمده از آزمون دانکن نشان داد که مقدار کلسیم، منیزیم و EC در دو عمق خاک تیمار شده با گچ، بیش از تیمار شاهد است (جدول ۱۰). همچنین این دو تیمار در قسمت سطحی و عمقی اختلاف معنی داری دارد ( $P < 0.01$ ). نتایج همچنین نشان داد که سدیم موجود در نمونه‌های عصاره‌ی گل اشباع تیمار شاهد و تیمار گچ، با مقدار و اندازه‌ی مشخص در قسمت سطحی اختلاف معنی داری ندارد. اما در قسمت عمقی، مقدار سدیم در تیمار شاهد بیش از تیمار گچ است و اختلاف معنی داری دارد ( $P < 0.05$ ). با توجه به نتایج نشان داده شده در جدول ۱۰، مقادیر SAR و ESP در تیمار شاهد و گچ، در قسمت سطحی و عمقی اختلاف معنی داری دارد ( $P < 0.01$ ). مقادیر SAR و ESP در دو عمق متفاوت تیمار گچ، با مقدار و اندازه ذره بهینه کمتر از تیمار شاهد است؛ بنابراین تیمار گچ با مقدار و اندازه بهینه، در هر بار آب‌شویی عملکرد بهتری نسبت به تیمار شاهد دارد.

جدول ۱۰: مقایسه‌ی میانگین خصوصیات شیمیایی نمونه خاک در شش مرحله‌ی آب‌شویی تیمار گچ و شاهد با استفاده از روش دانکن

تیمارها	عمق خاک (cm)	خصوصیات شیمیایی
شاهد	گچ با مقدار و اندازه بهینه	
۲/۲۸ <sup>b</sup>	۳/۵۱ <sup>a</sup>	۱۵-۰
۳/۴۹ <sup>b</sup>	۴/۵۸ <sup>a</sup>	۳۰-۱۵
۵۲/۵ <sup>b</sup>	۱۳۷/۱۶ <sup>a</sup>	۱۵-۰
۸۳/۶۷ <sup>b</sup>	۱۲۷ <sup>a</sup>	۳۰-۱۵
۴۸/۹۳ n.s	۴۹/۶۶ n.s	۱۵-۰
۹۲/۴ <sup>a</sup>	۷۹/۱۸ <sup>b</sup>	۳۰-۱۵
۲۵/۵ <sup>b</sup>	۴۳/۶۷ <sup>a</sup>	۱۵-۰
۲۴/۱۷ <sup>b</sup>	۷۱/۳۳ <sup>a</sup>	۳۰-۱۵
۱۲/۲۶ <sup>a</sup>	۷/۸۸ <sup>b</sup>	۱۵-۰
۱۸/۸۲ <sup>a</sup>	۱۲/۴۶ <sup>b</sup>	۳۰-۱۵
۱۵/۸۶ <sup>a</sup>	۸/۶ <sup>b</sup>	۱۵-۰
۲۶/۳۳ <sup>a</sup>	۱۵/۹۷ <sup>b</sup>	۳۰-۱۵

#### ۵- بحث و نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف تعیین میزان مصرف گچ، اندازه بهینه‌ی ذرات گچ و دستیابی به تعداد بهینه دفعات آب‌شویی روی یک خاک شور و سدیمی شده در شرایط آزمایشگاهی انجام شد؛ بدین منظور، خصوصیات شیمیایی خاک تحت تیمارهای مقدار مصرف (۷/۵، ۱۰، ۲۵ و ۵۰ گرم گچ در هر کیلوگرم خاک)، اندازه ذرات متفاوت (۰/۵، ۲ و ۴ سانتی‌متر) و تعداد شش مرحله آب‌شویی (به منظور تعیین آب‌شویی بهینه) اندازه‌گیری شد. نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از گچ با مقدار ۷/۵ گرم گچ در یک کیلوگرم خاک (معادل ۱۱ تن در هکتار تا عمق ۱۰ سانتی‌متری، ۱۶/۸۵ تن در هکتار تا عمق ۱۵ سانتی‌متری و ۳۳/۷ تن در هکتار تا عمق ۳۰ سانتی‌متری)، مناسب‌ترین مقدار برای آب‌شویی

خاک‌های شور و سدیمی کم تا متوسط است. Kovo و همکاران (۱۹۹۰)، طی تحقیقات آزمایشگاهی روی یک خاک شور و سدیمی در کره جنوبی دریافتند که آب‌شویی این نوع خاک پس از کاربرد ۴/۵ تن گچ در هکتار، در اصلاح خاک شور و سدیمی بهترین عملکرد را دارد. Jesus و همکاران (۲۰۱۹) در تحقیقی برای بهبود خاک شور - سدیمی، از کود ذرت یا کود حیوانی به عنوان جایگزین گچ استفاده کردند. در نهایت، این محققان دریافتند که استفاده از کود به کاهش میزان گچ مورد نیاز منجر می‌شود و ۱۵ تن در هکتار کود همراه با ۱۵ تن در هکتار گچ، هم می‌تواند شوری و سدیمی بودن را کاهش دهد، هم می‌تواند تولید و رشد گیاه را چندین برابر کند و هم از لحاظ اقتصادی برای کشاورز هزینه‌ی زیادی ندارد.

بر اساس نتایج این مطالعه اندازه ذرات گچ ۰/۵ میلی‌متر، بهترین عملکرد را در اصلاح خاک مورد مطالعه داشت. بنابراین، می‌توان بیان کرد که با افزودن ۷/۵ گرم در یک کیلوگرم خاک با اندازه ذره گچ (۰/۵ میلی‌متر)، بهترین تیمار برای اصلاح خاک با درجه شور و سدیمی کم تا متوسط است. در نهایت، برای تعیین آب‌شویی بهینه‌ی خاک تیمار شده با استفاده از گچ در مقدار و اندازه‌ی مشخص و تیمار شاهد، هر کدام به صورت جدا برای هر بار آب‌شویی تا شش مرحله بررسی شد. نتایج حاصل از این بخش بیان کرد که تیمار گچ با مقدار ۷/۵ گرم گچ در یک کیلوگرم خاک و اندازه ذره گچ ۰/۵ میلی‌متر، پس از چهار مرحله‌ی آب‌شویی بهترین عملکرد را دارد. اگرچه آب‌شویی خاک شاهد نیز به کاهش میزان SAR و ESP منجر شد، این روند کاهشی پایدار نبود و پس از مرحله‌ی پنجم آب‌شویی مجدداً مقدار SAR، ESP و EC افزایش یافت. در قسمت عمقی خاک تا مرحله‌ی پنجم آب‌شویی، مقدار املاح و SAR، ESP و EC کاهش می‌یابد؛ ولی در آب‌شویی ششم همانند قسمت سطحی، مقدار املاح و SAR، ESP و EC تیمار شاهد افزایش می‌یابد. Hoseininya و همکاران (۲۰۱۷)، اثر مواد اصلاح‌کننده‌ی مختلف را بر آب‌شویی املاح از یک خاک شور و قلیا به روش آزمایشگاهی بررسی کردند. آنها با استفاده از چهار تیمار آب آبیاری (شاهد)، گچ پودری، گچ محلول در آب و اسیدسولفوریک در ستون‌های خاک به این نتیجه رسیدند که بیشترین املاح در اولین مرحله از آب‌شویی از طریق زه آب خارج می‌شود. در نهایت، در این مطالعه تیمار شاهد و تیمار گچ با مقدار و اندازه ذره‌ی بهینه، از نظر تأثیر آب‌شویی‌های مختلف در دو قسمت سطحی و عمقی روی خاک با یکدیگر مقایسه شد. با توجه به مطالب گفته شده و بررسی‌ها و نتیجه‌گیری‌های صورت گرفته می‌توانیم به این نتیجه برسیم که تیمار گچ با مقدار ۷/۵ گرم گچ در هر کیلوگرم خاک و اندازه قطر ذرات گچ الک ۰/۵ میلی‌متر (۳۵ مش) بهینه، در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک، نسبت به تیمار شاهد در اصلاح خاک شور و سدیمی عملکرد بهتری داشته‌است. همچنین مقدار آب مورد نیاز برای اصلاح این خاک تا عمق موردنظر کمتر از تیمار شاهد است.

آب‌شویی خاک شور و سدیمی بدون استفاده از مواد اصلاح‌کننده، به سدیمی شدن خاک منجر می‌شود و ساختمان خاک را تخریب می‌کند. نتایج مطالعات Noori و همکاران (۲۰۲۱) نشان داد که خاک‌های شور و سدیمی - که تا حدی تخریب شده‌اند - می‌توانند با اصلاح با نوع خاصی از تیمارها و همراه با بهترین روش‌های مدیریت خاک برای مصارف کشاورزی تکامل یابند.

## ع- سپاس‌گزاری

این مطالعه در آزمایشگاه آب و خاک دانشکده‌ی منابع طبیعی و علوم زمین دانشگاه کاشان انجام شد. بدین وسیله از زحمات آقای محمد توفیقی، کارشناس مسئول آزمایشگاه و دانشجوی دکتری تخصصی شیمی خاک - که در اجرا و تحلیل داده‌های این مطالعه به ما یاری رساندند - تشکر و تقدیر می‌شود.

## منابع

1. Abdel-Fattah, M. K.; Fouda, S.; & U. Schmidhalter, 2015. Effects of gypsum particle size on reclaiming saline-sodic soils in Egypt, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 46(9), 1112-1122.
2. Amezketta, E.; Aragués, R.; & R. Gazol, 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.
3. Arnold, A.; Beasley, J. P.; Harris, G. H.; Grey, T. L.; & M. Cabrera, 2018. Effect of Gypsum Application Rate, Soil Type, and Soil Calcium on Yield, *Grade and Seed Quality of Runner Type Peanut Cultivars*. *PEANUTSCIENCE*, 6, 13-19.
4. Chapman, H. D., & P. F. Pratt., (1978). *Methods of Analysis for soils, plants and waters*. Division of Agric. Sci. Univ. California, Berkeley, USA, 309.
5. Corwin, D. L.; Rhoades, J. D.; & J. Šimůnek, 2007. Leaching requirement for soil salinity control: Steady-state versus transient models, *Agricultural Water Management*, 90(3), 165-180.
6. Day, S. J.; Norton, J. B.; Strom, C. F.; Kelleners, T. J.; & E. F. Aboukila, 2019. Gypsum, langbeinite, sulfur, and compost for reclamation of drastically disturbed calcareous saline-sodic soils, *International journal of environmental science and technology*, 16(1), 295-304.
7. Franzen, D. W., & J. L. Richardson., (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.
8. Gangwar, P.; Singh, R.; Trivedi, M.; & R. K. Tiwari, 2020. Sodic soil: management and reclamation strategies. In *Environmental Concerns and Sustainable Development* (pp. 175-190). Springer, Singapore
9. HosseiniNia, F.; Hassan Pour, H.; Naghavi, H.; & F. Abbasi, 2017. Comparative effects of chemical amendments on salt leaching from a saline-sodic soil in Kerman under laboratory condition, of *Soil Management and Sustainable Production*, 7(2), 119-133.
10. Jesus, K. N.; Althoff, T. D.; Marin, A. M. P.; Sousa, A. R.; Martins, J. C. R.; Araújo Filho, R. N.; ... & E. V. D. S. B. Sampaio, 2019. Use of Maize Straw or Animal Manure as an Alternative to Gypsum to Ameliorate Saline-Sodic Soils, *Journal of Experimental Agriculture International*, 1-11.
11. Kelley, W. P., 1951. Alkali soils. Their formation, properties and reclamation. Alkali soils. Their formation, properties and reclamation.
12. Keren, R., 1996. Reclamation of sodic-affected soils, Soil erosion, conservation and rehabilitation, 353-374.
13. Kianian, M. K.; Asgari, H. R.; & F. Bahadori, 2019. Impact of Organic, Inorganic and Superabsorbent Polymer Materials on Soil Properties under Plant Community of *Nitraria schoberi* in Deserts of Semnan, Iran, *Journal of Rangeland Science*, 9(1), 40-51.
14. Kitani, O.; Jungbluth, T.; Peart, R. M.; & A. Ramdani, 1999. CIGR handbook of agricultural engineering. Energy and biomass engineering, 5, 330.
15. Koo, J. W.; Edling, R. J.; & V. Taylor, 1990. A laboratory reclamation study for sodic soils used for rice production, *Agricultural water management*, 18(3), 243-252.



16. Lebron, I.; Suarez, D. L.; & M. G. Schaap, 2002. Soil pore size and geometry as a result of aggregate-size distribution and chemical composition, *Soil Science*, 167(3), 165-172.
17. Li, X., & C. H. Zhang., (2021). Effect of natural and artificial afforestation reclamation on soil properties and vegetation in coastal saline silt soils, *CATENA*, 198 (105066).
18. Mann, M.; Pissarra, A.; & J. W. Van Hoorn, 1982. Drainage and desalinization of heavy clay soil in Portugal, *Agricultural Water Management*, 5(3), 227-240.
19. Moret-Fernández, D., & J. Herrero., (2015). Effect of gypsum content on soil water retention. *Journal of Hydrology*. 528, 122-126.
20. Muya, E. M., & P. N. Macharia., (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.
21. Noori, Z.; Delavar, M. A.; Safari, Y.; & S. M. Alavi-Siney, 2021. Reclamation of a calcareous sodic soil with combined amendments: interactive effects of chemical and organic materials on soil chemical properties, *Arabian Journal of Geosciences*, 14(3), 1-11.
22. Pandey, V. C.; Singh, K.; Singh, B.; & R. P. Singh, 2011. New approaches to enhance eco-restoration efficiency of degraded sodic lands: critical research needs and future prospects, *Ecological Restoration*, 29(4), 322-325.
23. Pazira, E. J., 2011. Water Soil improvement of saline and sodic soils using chemical materials, *The possibility Cons*, 4, 27-44. (In Persian)
24. Pizarro, C.; Drenaje, F.; & Y. Agrícola, 1978. Recuperación De Suelos Salinos; Editorial Agrícola Española: Madrid, Spain, ISBN 978-84-85441-00-6
25. Rengasamy, P., 1997. Sodic soils, P 265-277. *Methods for Assessment of Soil Degradation*, 26.
26. Rousta, M. J., & K. Enayati., (2019). The Effects of Humic Acid Application on Yield and Yield Components of Wheat and Some Chemical Properties of a Saline-Sodic Soil. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*. 8(4), 95-109.
27. Sabir, G. K.; Haq, U. I.; Abdul Malik., Muhammad Javed Khattak.; & Naveedullah, 2007. Effect of various levels of gypsum application on the reclamation of salt affected soil grown under rice followed by wheat crop, 23 (3), 676-680.
28. Sang-Sun Lim.; Hye In Yang.; Hyun-Jin Park, Se-In Park.; Bo-Seong Seo.; Kwang-Seung Lee.; Seung-Heon Lee.; Sang-Mo Lee.; Han-Yong Kim.; Jin-Hee Ryu.; Jin-Hyeob Kwak.; & Woo-Jung Choi. (2020). Land-use management for sustainable rice production and carbon sequestration in reclaimed coastal tideland soils of South Korea: a review, *Soil Science and Plant Nutrition*, 66(1), 60-75.
29. Vafaei, M.; Golchin, A.; Sadeghbeigi, A.; & T. Mansouri, 2019. The Effects of Organic Matter, Gypsum and Leaching on Physico-chemical Properties of a Sodic Soil, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 49(6), 1201-1214.
30. Wallender, W. W., & K. K. Tanji., (2011). Agricultural salinity assessment and management (No. Ed. 2). *American Society of Civil Engineers (ASCE)*.
31. Zaka, M. A.; Ahmed, K.; Raza, H.; Sarfraz, M.; & H. Schmeisk, 2018. *AJAB, Asian J Agri & Biol*, 6(4), 514-523.
32. Zheli Ding.; Ahmed M. S.; Kheir, Osama A. M.; Ali, Emad M.; Hafez, Essam A.; ElShamey.; Zhaoxi Zhou.; Bizun Wang.; Xing'e Lin.; Yu Ge.; Ahmed, E. Fahmy.; & Mahmoud F. Seleiman, 2021. A vermicompost and deep tillage system to improve saline-sodic soil quality and wheat productivity, *Journal of Environmental Management*, 277, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111388>.

# Investigation of the effect of amount and size of gypsum particles on its performance in the improvement of saline and sodium soils

**Fatemeh Karimi:** *MS.c student, Natural Resources Department, Faculty of Natural Resources, University of Kashan, Kashan*

**Reza Ghazavi**<sup>1</sup>: *Professor, Natural Resources Department, Faculty of Natural Resources, University of Kashan, Kashan*

**Ebrahim Omidvar:** *Associate professor, Natural Resources Department, Faculty of Natural Resources, University of Kashan, Kashan*

**Article History (Received: 2021/05/17**

**Accepted: 2021/07/7)**

## Extended abstract

### 1- Introduction

Gypsum, sulfuric acid, and sulfur are used to improve saline and sodic soils. In some cases, animal manures are also used, which varies according to environmental conditions and soil type (Jesus et al., 2019). Industrial gypsum is often used to modify saline and sodic soils due to electrolyte maintenance, physical and hydraulic properties (Keren, 1996), low cost, solubility, and ease of use (Amezketta et al., 2005). Gypsum particle size can also affect gypsum performance. Abdolfattah et al. (2015), using gypsum in three different sizes (<0.5, 1-1.5, and 1-2 mm), found that the use of gypsum with smaller particle size has better performance than large particles. Gypsum can reduce salinity as well as soil sodium. Morete and Hiro (2015) showed that the content of soil gypsum has a significant effect on water retention, as the higher the gypsum content, the holding curve soil water holdings have a steeper range and the soil stores more water. In leaching operations and improvement of saline and sodic soils, a large amount of water is required. Therefore, determining the amount of water required due to the water shortage crisis and the protection of water resources is of particular importance. Therefore, in this study, the effect of gypsum modifiers with different amounts and sizes of particles on the amount of water required for leaching saline and sodic soils with low to medium salinity has been investigated. In general, the main objectives of this research are 1- Determining the optimal size of gypsum particles for leaching with minimum water, 2- Determining the optimal amount of gypsum for leaching with minimum water 3- Determining minimum water required for leaching saline and sodium soils.

### 2- Methodology

After drying, the lumps in the soil samples were pounded using a plastic hammer and a unique rolling pin available in the laboratory to prepare the soil. Finally, the compacted soil sample was passed through a 2 mm sieve. Then, using different amounts of sodium chloride, it was transformed into the soil with low to medium salinity and sodium by trial and error in a laboratory. After applying the treatments mentioned in the text of the article to determine the chemical properties of the soil before washing, five different amounts of gypsum (5, 7.5, 10, 25, 50 g of gypsum per kg of soil) were added to the soil in three repetitions and poured into cylindrical pillars. In the preparation of laboratory columns, polyethylene cylindrical containers with a diameter of 35 and a height of 40 cm were used. To drain the laboratory columns in the bottom of the cylindrical containers, a sand filter with a height of 5 cm was used, and pipes for the water outlet were installed in the same part. After 24 hours of treatments and leaching, soil sampling was performed from two different depths (0-15 and 15-30 cm), and soil chemical properties were measured after six leaching steps. The gypsum is passed

<sup>1</sup> Corresponding Author: [ghazavi@kashanu.ac.ir](mailto:ghazavi@kashanu.ac.ir)

through different sieves (4, 2, 0.5, 0.25 mm) to obtain different particle sizes in the next step. The treated soils were then tested with three replications as in the previous step, and their chemical properties were measured. After determining the optimal amount and size of gypsum from the last two stages, the soil was leached in six repetitions in 6 stages. After each leaching, one of the treated soils was removed from the leaching cycle and soil and drainage chemical properties. Its output was measured. Finally, soil and drainage characteristics were compared during the repetition of 6 leaching times to determine which stage the leached soil has the desired optimal conditions. Finally, all the mentioned steps were analyzed using SPSS 19 software.

### **3- Results**

The results obtained from the application of 10, 25, and 50 g of gypsum per kg of soil showed that if the amount of gypsum used to improve the saline and sodium soils studied is less than 7.5 g of gypsum per kg of soil, the soil retains its salinity and sodium content. If the amount of gypsum used is higher than this amount, the salinity and sodium intensity of the soil will increase. For soil with a depth of 30 cm and a volumetric mass of 1.5 tons per cubic meter, the amount of gypsum required will be about 3.4 tons per hectare. In the continuation of experiments to determine the optimal size of gypsum particles, the tested soil was treated with 7.5 g of gypsum per kg of soil in different particle sizes (0.25, 0.5, 2, and 4 mm). After the significance of the ANOVA test, the average chemical properties of soil in each of the different treatments of gypsum particle size were compared. This finding shows that the optimal gypsum particle size for the study of saline and sodium soils was particle size between 0.25 to 0.5 mm. In the continuation of the research, using the determined optimal amount (7.5 g / kg) and the optimal size of gypsum particle (0.5 mm), the effect of each leaching stage on the soil at two depths (0-15 and 30-15) were examined. According to the results, the lowest amount of ESP is related to saturated flower extract after four washing steps.

### **4- Discussion & Conclusions**

This study showed that using 7.5 grams of gypsum per kilogram of soil is the most suitable value for leaching saline and low to medium saline soils (equivalent: 11 tons per hectare to a depth of 10 cm, 16.85 tons per hectare to a depth of 15 cm, and 33.7 tons Per hectare to a depth of 30 cm). The gypsum particle size of 0.5 mm had the best performance in soil remediation. Therefore, it can be stated that adding 7.5 g / kg soil with gypsum particle size (0.5 mm) is the best treatment for soil improvement with low to medium salinity and sodium. This section stated that gypsum treatment with 7.5 g of gypsum per kg of soil and gypsum particle size of 0.5 mm has the best performance after four leaching stages. Finally, in this study, control treatment and gypsum treatment with optimal particle size and size were compared in terms of the effect of different leachates in both surface and deep parts of the soil. Leaching saline and sodium soils without using modifiers causes the soil to become sodic and destroys the soil structure. The results of studies by Noori et al. (2021) have shown that saline and sodium soils that have been partially degraded can be developed for agricultural use by modification with a specific type of treatment and with the best soil management practices.

**Key Words: Soil Washing, Soil Improvement, Soil salts, Treatment, Saline and sodium soils, Kashan**