

## کشت گیاه روناس به عنوان روشی مؤثر و کارا در اصلاح یک خاک شور - سدیمی

نجمه مظلوم<sup>۱\*</sup>، رضا خراسانی<sup>۲</sup>، امیر فتوت<sup>۳</sup> و یوسف هاشمی نژاد<sup>۴</sup>

### چکیده

برای اصلاح خاک‌های تحت تأثیر نمک علاوه بر کاربرد اصلاح کننده‌های شیمیایی می‌توان از روش گیاه‌پالایی نیز استفاده کرد. این پژوهش در ستون‌هایی پر شده از یک خاک شور- سدیمی برای ارزیابی اثر گیاه‌پالایی گیاه روناس در بهبود خصوصیات خاک انجام شد. ۷ تیمار آزمایشی با سه تکرار به صورت یک طرح کاملاً تصادفی شامل سه تیمار گیاهی (سببانی، روناس و مرغ)، سه تیمار شیمیایی (گچ در دو سطح و اسید سولفوریک) و یک شاهد در این ستون‌ها اعمال شدند. ۵/۵ ماه پس از کشت گیاهان در ستون‌های خاک و یک ماه پس از اعمال تیمارهای شیمیایی، تمامی ستون‌ها با ۴۱ لیتر آب آبخویی شدند. سپس برخی خصوصیات خاک شامل ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع ( $K_s$ )، میانگین وزنی قطر خاکدانه (MWD)، هدایت الکتریکی عصاره اشباع ( $EC_e$ )، نسبت جذب سدیم (SAR) و مقدار سدیم محلول در زه‌آب اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد روناس بیشترین اثر را در بهبود خصوصیات فیزیکی خاک داشته است، به طوری که بیشترین  $K_s$  ( $20/5 \times 10^{-5} \text{ cm s}^{-1}$ ) و MWD ( $0/92$ ) مربوط به آن و کمترین آن‌ها ( $2/4 \times 10^{-5} \text{ cm s}^{-1}$  و  $0/2$ ) مربوط به شاهد است. بیشترین خروج سدیم از خاک با مقدار  $55/3$  گرم در تیمار روناس اتفاق افتاد که سه برابر شاهد بود. همه تیمارها سبب کاهش معنی‌دار SAR نسبت به شاهد شدند. با توجه به کارایی گیاه روناس در بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، کشت این گیاه را می‌توان به عنوان روشی مفید و کم هزینه برای اصلاح خاک‌های شور- سدیمی معرفی کرد.

**واژه‌های کلیدی:** آبخویی، اصلاح کننده‌های شیمیایی، خاک‌های شور- سدیمی، روناس، گیاه‌پالایی.

**ارجاع:** مظلوم ن. خراسانی ر. فتوت ا. و هاشمی‌نژاد ی. ۱۳۹۲. کشت گیاه روناس به عنوان روشی مؤثر و کارا در اصلاح یک خاک شور- سدیمی. مجله پژوهش آب ایران. ۱۶۷(۱۲):۱۵۹-۱۶۷.

۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

۲- استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

۳- دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

۴- عضو هیأت علمی مرکز ملی تحقیقات شوری یزد.

\* نویسنده مسئول: [n.mazloom65@gmail.com](mailto:n.mazloom65@gmail.com)

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۲/۱۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۹/۳۰

## مقدمه

در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان، شور و سدیمی بودن خاک یکی از نگرانی‌های جدی در بخش کشاورزی آبی است (احمد و همکاران، ۲۰۰۶؛ تانویر و همکاران، ۲۰۰۳). کاربرد اصلاح‌کننده‌های شیمیایی در اصلاح این خاک‌ها پیشینه‌ای طولانی دارد (قدیر و همکاران، ۲۰۰۱). گچ و اسید سولفوریک از جمله اصلاح‌کننده‌های شیمیایی هستند که سبب حلالیت کلسیت و آزادسازی کلسیم در محلول خاک می‌شوند. اما استفاده از آن‌ها هزینه‌بر است و گاهی در دسترس کشاورزان نیست. بنابراین، با مطالعات و پژوهش‌های بیشتر دانشمندان، فرضیه اصلاح خاک‌های سدیمی و شور- سدیمی به روش گیاه‌پالایی ارایه شد (میشرا و همکاران، ۲۰۰۲). گیاه‌پالایی خاک‌های سدیمی و شور- سدیمی به معنای افزایش غلظت کلسیم و کاهش غلظت سدیم محلول خاک از طریق توانایی ریشه بعضی از گونه‌های گیاهی در افزایش مقدار انحلال کانی کلسیت است.

در سال‌های ۱۹۲۰-۱۹۳۰، کلی و همکاران، آزمایش‌های مزرعه‌ای ابتدایی را در کالیفرنیا انجام دادند، که از جمله اولین مطالعات در زمینه گیاه‌پالایی خاک‌های سدیمی است (قدیر و استر، ۲۰۰۲). جو<sup>۱</sup> اولین گیاهی بود که برای تیمار گیاه‌پالایی استفاده شد و نقش قابل مقایسه‌ای در اصلاح خاک شور- سدیمی در مقایسه با تیمارهای شیمیایی گچ و اسید سولفوریک داشت. گونه‌هایی از گیاهی مقاوم به شوری نیز مانند کلار گراس<sup>۲</sup>، سسبانی<sup>۳</sup> و یونجه<sup>۴</sup> می‌توانند سبب کاهش شوری و سدیم این خاک‌ها شوند (بارتا و همکاران، ۱۹۹۷). این گیاهان با به کار بردن مکانیسم‌های مختلفی از جمله افزایش فشار جزئی دی‌اکسیدکربن در منطقه ریشه سبب بهبود ویژگی‌های خاک می‌شوند (قدیر و همکاران، ۲۰۰۷). این گیاهان دارای توانایی تولید زیست‌توده زیاد، تحمل به شوری، سدیمی بودن خاک و غرقاب شدن مقطعی هستند (کائور و همکاران، ۲۰۰۲؛ قدیر و استر، ۲۰۰۲). پژوهش‌های عملی در زمینه گیاه‌پالایی خاک شور- سدیمی با استفاده از دو گیاه سسبانی و مرغ<sup>۵</sup> نشان دادند که این دو گیاه کارایی خوبی در اصلاح خاک دارند (قدیر و همکاران،

۲۰۰۷). سسبانی از راسته Fabales، خانواده Fabaceae، گونه Robinieae و جنس Sesbania است که به دلیل تولید زیست‌توده مناسب و افزایش حاصل‌خیزی خاک از طریق تثبیت نیتروژن برای اصلاح خاک، در خاک‌های شور- سدیمی کشت می‌شود (قدیر و استر، ۲۰۰۲). مرغ نیز از راسته Poales، خانواده Poaceae، جنس Cyanodon است که به خاک‌های سدیمی، شور و غرقابی مقاوم است، به طوری که شوری محلول خاک را تا حد بیشتر از  $1 \text{ dS m}^{-1}$  تحمل می‌کند. این گیاه قادر به مقاومت در خاک‌های سدیمی است، به طوری که در خاک‌های با ESP حدود ۵۰، بدون کاهش عملکرد رشد می‌کند (کومار و آبرول، ۱۹۸۴). در این تحقیق در کنار این دو گیاه، کارایی گیاه روناس (*Rubia tinctorum* L.) نیز ارزیابی و مقایسه شد. روناس از جمله گیاهان مقاوم به شوری است که از خانواده Rubiaceae، گونه Rubiaea و جنس Rubia است. روناس یک گیاه علفی چندساله (گولپهان و تاسکین، ۱۹۹۹) و بومی مناطق شرق میانه است و در جنوب و جنوب شرقی اروپا، مناطق مدیترانه‌ای و آسیای مرکزی کشت می‌شود (درکسن و بیک، ۲۰۰۲). این گیاه در شمال غربی، مرکز و جنوب ایران و به طور اساسی در استان یزد که منطقه‌ای خشک و بیابانی با منابع آب محدود و شور است کشت می‌شود. روناس بسیار مقاوم به شوری است و مقاومت در آن از نوع بردباری است و شوری خاک تا ۰/۳ درصد را به خوبی تحمل می‌کند (دشتکیان، ۲۰۰۰). روناس می‌تواند در خاک‌های شور با EC بیش از  $15 \text{ dS m}^{-1}$  و با شوری آب آبیاری بیش از  $8/5 \text{ dS m}^{-1}$  رشد کند (دشتکیان، ۲۰۰۰). در این تحقیق در کنار اصلاح‌کننده‌های شیمیایی گچ و اسیدسولفوریک و نیز دو گیاه به کار رفته در گیاه‌پالایی خاک‌های شور- سدیمی (سسبانی و مرغ)، کشت گیاه روناس جهت بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، ارزیابی شده است.

## مواد و روش‌ها

این تحقیق در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۱۳۸۸ انجام شد. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با آرایش کرت‌های خرد شده با ۷ تیمار، سه تکرار و در دو عمق ۱۵-۰ و ۳۰-۱۵ سانتی‌متری خاک در ستون‌هایی پر شده از یک خاک شور- سدیمی به قطر ۳۱ سانتی‌متر، ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر و وزن ۳۷ کیلوگرم انجام

- 1- *Hordeum vulgare* (L.)
- 2- *Leptochloa fusca* (L.)
- 3- *Sesbania acuelata* (L.)
- 4- *Medicago sativa*
- 5- *Cynodon dactylon* (L.)

درصد نیاز گچی و اسید سولفوریک به میزان اکی‌والانی برابر با ۱۰۰ درصد نیاز گچی و نیز یک شاهد بودند (جدول ۱).

شد. تیمارهای آزمایشی به ترتیب شامل سه تیمار گیاهی سسبانی، روناس و مرغ و سه تیمار شیمیایی شامل پودر گچ به مقدار ۵۰ درصد نیاز گچی، پودر گچ به مقدار ۱۰۰

جدول ۱- تیمارهای آزمایشی

تیمارهای آزمایشی			تیمارهای گیاهی		
تیمارهای شیمیایی			تیمارهای گیاهی		
شاهد	اسیدسولفوریک به مقدار ۱۰۰٪ نیاز گچی	گچ به مقدار ۵۰٪ نیاز گچی	گچ به مقدار ۱۰۰٪ نیاز گچی	سسبانی	مرغ روناس

اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک به آزمایشگاه منتقل شد. اندازه‌گیری کاتیون‌های تبادل‌ی برای تعیین درصد سدیم تبادل‌ی (ESP) در خاک‌های شور- سدیمی زمان‌بر و دشوار است و نتایج متفاوتی را به دنبال دارد (سیلسپور و رشیدی، ۲۰۰۸). از طرفی مقادیر SAR در محدوده بین ۴۰-۰ در خاک‌های کشاورزی متناسب با مقادیر ESP است (قدیر و همکاران، ۲۰۰۷)، لذا در این تحقیق مقدار ESP از رابطه ESP و SAR اندازه‌گیری شده تعیین شد (استورم و همکاران، ۲۰۰۴؛ تانویر و همکاران، ۲۰۰۳):

$$ESP = \frac{100[-a + b(SAR)]}{1 + [-a + b(SAR)]} \quad (1)$$

که در آن، a و b به ترتیب معادل مقادیر ثابت ۰/۱۲۶ و ۰/۱۴۷۵ هستند.

EC، pH، کلسیم و منیزیم محلول به روش تیتراسیون با EDTA ۰/۰۱ نرمال، سدیم و پتاسیم محلول با دستگاه فلاپمفتومتر، بافت به روش هیدرومتری، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون با سود ۰/۲۵ نرمال، ظرفیت تبادل‌ی کاتیونی به روش پولمیو و رودز (۱۹۷۷) اندازه‌گیری و SAR و نیاز گچی نیز محاسبه شدند. مقدار سدیم علاوه بر خاک، در بخش هوایی گیاه (قزائت با دستگاه فلاپمفتومتر بعد از هضم تر بخش هوایی گیاه) و زه‌آب نیز تعیین شد. برای اندازه‌گیری سدیم در کل زه‌آب هر ستون، بعد از هر بار آبیاری تمامی زه‌آب با یک لوله پلاستیکی درون ظروف پلاستیکی موجود در زیر ستون‌ها و تا پایان دوره آبیاری جمع‌آوری و مقدار سدیم موجود اندازه‌گیری شد. همچنین حجم دقیق زه‌آب برای هر ستون خاک اندازه‌گیری شد. برای به دست آوردن ضریب هدایت هیدرویکی اشباع ارتفاع ثابتی از آب روی ستون خاک حفظ شد و مقدار زهکش خروجی در مدت زمان مشخص اندازه‌گیری شد و با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد:

نیاز گچی خاک مورد نظر  $100g^{-1} meq_{Na} 1/12$  بود که قبل از انجام آزمایش محاسبه شد. برای زهکشی ستون‌های خاک، در کف آن‌ها روزنه‌ای به قطر ۱/۵ سانتی‌متر ایجاد شد و روی آن یک لایه ۸ سانتی‌متری از سنگریزه قرار داده شد. هر ستون در دو مرحله و با خاکی با چگالی ظاهری ۱/۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب و رطوبت ۱۲ درصد جرمی پر شد. قبل از اضافه کردن هر بخش از خاک، سطح لایه قبلی بعد از متراکم شدن به طور کامل خراش داده شد تا تماس کاملی با لایه بعدی داشته باشد (هاشمی نژاد و غلامی، ۱۳۸۷). پودر گچ به طور یکنواخت با لایه ۱۵ سانتی‌متری سطح خاک مخلوط شد و اسید سولفوریک (۱۶/۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۹۷ درصد برای هر ستون خاک) نیز همراه با آب به تیمارهای مربوطه اضافه و رطوبت تیمارها در سطح ظرفیت زراعی نگهداری شد. بذر گیاه سسبانی و روناس پس از ضد عفونی و جوانه‌زنی به همراه ریزوم گیاه مرغ به تعداد سه عدد در ستون‌های خاک مربوطه کشت شدند. در طول دوره رشد، قبل از خشک شدن سطح خاک (یک روز در میان) گیاهان آبیاری شده و مقدار آب اضافه شده برای آبیاری، اندازه‌گیری شد. یک تیمار شاهد نیز بدون اضافه کردن ماده شیمیایی و یا کشت گیاه در نظر گرفته شد. پس از گذشت ۲ ماه از زمان اعمال تیمارهای شیمیایی و ۵ ماه و نیم از زمان کشت گیاهان، همه تیمارها از جمله تیمار شاهد با ۴۱ لیتر آب شهری ( $SAR=1/36$  و  $EC=0/56 dS m^{-1}$ ) در ۸ مرحله و به مدت یک ماه به طور یکسان آبیاری شدند. برای به دست آوردن مقدار آب مورد نیاز برای آبیاری، EC زه‌آب اندازه‌گیری می‌شد و پس از رسیدن آن به حدود  $4 dS m^{-1}$  آبیاری متوقف شد که این حجم آب برابر با ۴۱ لیتر بود. پس از اتمام آبیاری از هر ستون خاک و از دو عمق ۰-۱۵ و ۳۰-۱۵ سانتی‌متری خاک یک نمونه برای

میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند.

### نتایج و بحث

بررسی تغییرات نسبت جذب سدیم (SAR) خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مورد استفاده در این تحقیق در جدول ۲ و خصوصیات شیمیایی آب آبخویی در جدول ۳ ارائه شده است. پس از آبخویی ستون‌های خاک، در تمامی تیمارهای شیمیایی و گیاهی مقدار SAR در هر دو عمق خاک کاهش پیدا کرد (شکل ۱).

جدول ۲- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مورد آزمایش

CCE <sup>a</sup> %	ESP <sup>b</sup>	CEC <sup>c</sup> cmol <sub>c</sub> Kg <sup>-1</sup>	SAR	Ca+Mg		pH <sub>s</sub>	EC <sub>c</sub> dS m <sup>-1</sup>	یافت
				محلول	محلول			
۱۵/۱۵	۲۴/۸	۸	۲۳/۸	۴۵	۱۱۲/۹	۷/۷	۱۲/۸	لوم رسی

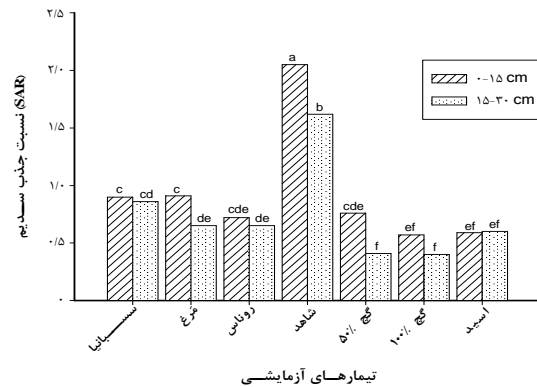
<sup>a</sup>کربنات کلسیم معادل، <sup>b</sup>درصد سدیم تبادلی و <sup>c</sup>ظرفیت تبادل کاتیونی

جدول ۳- خصوصیات شیمیایی آب آبخویی

SAR	Na محلول (meq L <sup>-1</sup> )	Ca+Mg محلول (meq L <sup>-1</sup> )	EC (dS m <sup>-1</sup> )
-	۱/۶۷	۰/۳	۰/۵۶

تیمارهای گیاهی و شیمیایی به مراتب بیشتر از شاهد بوده است (جدول ۴).

در مورد تیمارهای شیمیایی به دلیل اضافه کردن گچ که منبع کلسیم است و اضافه کردن اسید که سبب انحلال کلسیت و آزاد شدن کلسیم می‌شود، می‌توان گفت این مقدار سدیم توسط کلسیم جایگزین شده است. در تیمارهای گیاهی نیز فرایندهایی مانند آزاد شدن پروتون و افزایش فشار جزیی دی‌اکسیدکربن سبب اسیدی شدن خاک و در نتیجه آزادسازی کلسیم از کلسیت موجود در خاک و جانشینی آن به جای سدیم خروجی شده است. در جدول ۴ برای مقایسه بیلان سدیم در سیستم، از مقدار کل سدیم اضافه شده از طریق آبیاری به هر ستون (در مورد تیمارهای بدون کشت گیاه، مقدار آب لازم برای رساندن به ظرفیت زراعی لحاظ شده است) و مقدار کل سدیم اضافه شده از طریق آب آبخویی به آن‌ها به عنوان ورودی برای خروجی سیستم نیز از مقادیر کل سدیم جذب شده در بخش هوایی گیاه در هر تیمار گیاهی و مقدار کل سدیم آبخویی شده در زه‌آب هر تیمار استفاده شد. مقایسه مجموع سدیم اولیه خاک (۳۳/۶ گرم در هر ستون) و سدیم ورودی به خاک (۲/۸۳ گرم برای تیمارهای گیاهی و ۲/۱۳ گرم برای تیمارهای شیمیایی و شاهد) با سدیم



شکل ۱- مقادیر مربوط به نسبت جذب سدیم (SAR) در تیمارهای آزمایشی بعد از آبخویی (ستون‌های دارای حروف لاتین مشترک در سطح اطمینان ۹۵ درصد اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر ندارند).

مقدار SAR در تیمارهای گیاهی و شیمیایی به جز شاهد، به مقدار کمتر از ۱ کاهش یافت. با مقایسه بین مقادیر کاهش یافته SAR در شاهد و دیگر تیمارهای آزمایشی با مقدار اولیه آن شاید به نظر برسد که آبخویی به تنهایی برای اصلاح این خاک کافی است. اما با مطالعه دقیق زه‌آب مشخص می‌شود که مقدار سدیم خارج شده در

خروجی نشان می‌دهد که به جز شاهد تقریباً در اکثر تیمارها همه سدیم محلول از ستون خاک خارج شده است.

جدول ۴- بیان سدیم در سیستم آب، خاک و گیاه

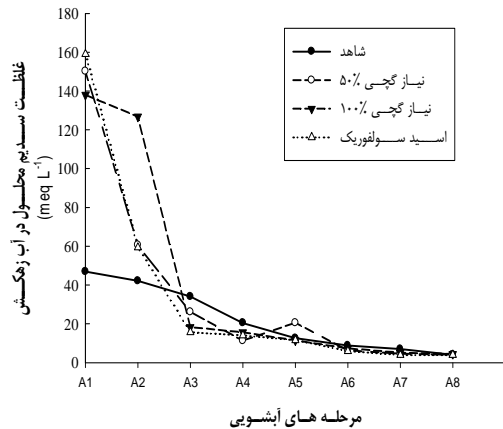
تیمارهای آزمایشی	خاک اولیه گرم در ستون	سدیم ورودی		سدیم خروجی		باقی مانده در خاک گرم در ستون
		آب آبیاری	آب آبخوبی	جذب گیاه گرم در ستون	زه‌آب گرم	
سسبانیا	۳۳/۵۹	۱/۲۶	۱/۵۷	۱/۱۷	۲۹/۷۱	۱/۱۶
روناس	۳۳/۵۹	۱/۳۸	۱/۵۷	۱/۰۰	۵۵/۳۷	۱/۰۸
مرغ	۳۳/۵۹	۱/۲۶	۱/۵۷	۰/۸۴	۳۳/۵۳	۰/۹۶
شاهد	۳۳/۵۹	۰/۵۶	۱/۵۷	۰/۰۰	۱۸/۱۱	۲/۲۴
۱۰۰٪ گچ	۳۳/۵۹	۰/۵۶	۱/۵۷	۰/۰۰	۴۰/۵۴	۰/۸۰
۵۰٪ گچ	۳۳/۵۹	۰/۵۶	۱/۵۷	۰/۰۰	۴۱/۲۹	۰/۷۷
اسیدسولفوریک	۳۳/۵۹	۰/۵۶	۱/۵۷	۰/۰۰	۳۶/۴۷	۰/۸۶

زیر است: ۱- افزایش فشار جزیبی دی‌اکسیدکربن در محیط ریشه؛ ۲- آزادسازی پروتون ( $H^+$ ) از ریشه گیاهان؛ ۳- بهبود خصوصیات فیزیکی خاک (مانند بهبود ساختمان و افزایش پایداری خاکدانه‌ها) و ۴- جذب سدیم و نمک توسط ریشه‌ها و انتقال به بخش هوایی گیاه (قدیر و همکاران، ۲۰۰۷). علاوه بر این، تراوش اسیدهای آلی مانند سترات، ملات و اگزالات توسط ریشه گیاهان سبب افزایش حلالیت کاتیون‌هایی مثل کلسیم در خاک می‌شود که می‌تواند با سدیم محلول جایگزین شود (ساین، ۱۹۹۸). مقایسه SAR در دو عمق ۰-۱۵ و ۱۵-۳۰ سانتی‌متری خاک نشان می‌دهد که اگرچه در تمامی تیمارهای شیمیایی و گیاهی مقدار SAR در عمق دوم کاهش بیشتری را داشت، اما این تفاوت در همه تیمارها معنی‌دار نبود. در مورد شاهد، تیمار ۵۰ درصد نیاز گچی و گیاه مرغ مشاهده شد که مقدار SAR در ۱۵ سانتی‌متری دوم خاک کاهش بیشتری داشت و این کاهش نسبت به عمق اول معنی‌دار بود. عدم تفاوت SAR بین دو عمق خاک در اکثر تیمارها بیانگر این مطلب است که آبخوبی به صورت کامل انجام شده و جابجایی املاح از خاک سطحی به خاک عمقی انجام نشده است. در بین تیمارهای گیاهی، گیاه روناس به ویژه در عمق اول در کاهش میزان SAR تقریباً مشابه تیمارهای شیمیایی عمل کرده است. ارزیابی‌های مختلفی در سطح مزرعه نیز نشان داده‌اند که اصلاح شیمیایی و گیاه‌پالایی از نظر توانایی کاهش سطوح سدیم خاک مشابه هستند. شکل ۲ و ۳ به ترتیب نشان دهنده مقدار سدیم آبخوبی شده در زه‌آب تیمارهای گیاهی و شیمیایی همراه با تیمار شاهد پس از ۸ مرحله

این مطلب نشان می‌دهد که کاهش SAR در شاهد بر خلاف تیمارهای آزمایشی به علت خارج شدن سدیم تبدالی از خاک بوده، بلکه بیشتر به دلیل اثر رقت-ظرفیت<sup>۱</sup> (ریو و باور، ۱۹۶۰)، حین آبخوبی نسبت کلسیم و منیزیم به سدیم در فاز محلول افزایش پیدا کرده است که در شرایط خشکی و تعادل خاک دوباره میزان SAR در این تیمار افزایش پیدا خواهد کرد. در صورتی که دلیل کاهش SAR در اکثر تیمارهای شیمیایی و گیاهی، انحلال و خروج سدیم از پروفیل خاک است که این حالت غیرقابل برگشت است. در تیمارهای گیاهی و شیمیایی، تنها عامل کاهش SAR اثر رقت-ظرفیت نبوده و عوامل دیگری نیز در این فرایند نقش داشته‌اند. علت کاهش SAR در تیمار گچ به دلیل انحلال گچ و آزاد شدن کلسیم در محلول خاک است که جایگزین سدیم تبدالی می‌شود. کاهش SAR در تیمار اسید سولفوریک می‌تواند به دلیل افزایش حلالیت کلسیت در حضور اسید سولفوریک و آزاد شدن کلسیم در محلول خاک باشد (کوئیک، ۲۰۰۱). رادریگوس و همکاران (۲۰۰۸) نیز در تحقیقی در برزیل با موضوع استفاده از گچ محلول در آب برای اصلاح خاک‌های شور-سدیمی دریافتند استفاده از گچ سبب کاهش معنی‌دار SAR نسبت به تیمار شاهد می‌شود. کارایی گیاه‌پالایی در اصلاح خاک‌های شور-سدیمی می‌تواند به دلیل فعالیت ریشه و نیز فعالیت میکروبی و تغییر محیط شیمیایی خاک باشد (استورم و همکاران، ۲۰۰۴). نقش فعالیت ریشه در کاهش SAR شامل موارد

1- Valence dilution

آبشویی است.



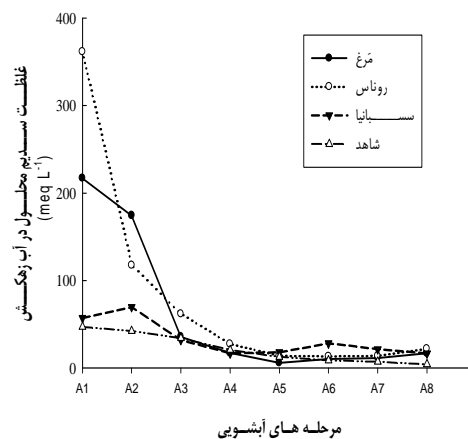
شکل ۳- مقدار سدیم زهکشی شده از ستون خاک تیمارهای شیمیایی و شاهد در هر دوره آبشویی

#### ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع خاک ( $K_s$ )

اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی شاخصی از مقدار نسبی عبور آب را فراهم می‌کند. اصلاح خاک‌های شور سدیمی با استفاده از گچ و اسید سولفوریک باعث افزایش هدایت هیدرولیکی، کلسیم و منیزیم تبادلی و کاهش سدیم و پتاسیم تبادلی، ESP، pH، EC و SAR خاک می‌شود (قدیر و همکاران، ۲۰۰۹). داده‌های مربوط به اثر تیمارهای مختلف بر هدایت هیدرولیکی خاک در جدول شماره ۵ نشان داده شده است. به طور میانگین مقدار  $K_s$  مربوط به تیمارهای گیاهی ۸۲٪ و  $K_s$  مربوط به تیمارهای شیمیایی ۷۶٪ بیشتر از  $K_s$  در تیمار شاهد است. گیاه روناس با ۸۸ درصد افزایش  $K_s$  نسبت به شاهد اثر گذارترین تیمار در میان تیمارهای گیاهی و شیمیایی است. اختر و همکاران (۲۰۰۴) در تحقیقی با موضوع بهبود خصوصیات فیزیکی تخریب شده یک خاک شور سدیمی از طریق کشت kallar grass دیدند که هدایت هیدرولیکی خاک در عمق ۰ تا ۲۰ سانتی‌متری سطح خاک با کشت این گیاه و با گذشت زمان افزایش پیدا کرد. هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک ( $EC_e$ )

مقایسه  $EC_e$  خاک نشان می‌دهد که اعمال تیمارهای مورد آزمایش سبب کاهش قابل ملاحظه  $EC_e$  تا حدود ۳ الی ۴  $dS m^{-1}$  شد (جدول ۵). به نظر می‌رسد به دلیل اینکه مقدار آب مورد استفاده برای آبشویی تمامی تیمارها یکسان بود و همه تیمارها زمان کافی برای زهکشی کامل داشتند، کاهش  $EC_e$  خاک مستقل از نوع تیمار و صرفاً متأثر از آبشویی بود. با توجه به مقادیر  $EC_e$  نمی‌توان تفاوت خاصی بین تیمارهای گیاهی و شیمیایی با شاهد

همان طور که دیده می‌شود، بیشترین خروج سدیم نسبت به شاهد برای تیمارهای گیاهی و شیمیایی در مراحل اولیه آبشویی انجام شد. روند خروج سدیم توسط آبشویی در تیمارهای گیاهی و شیمیایی تا مرحله ۴ ادامه پیدا کرد و بعد از مرحله ۴ تقریباً به حالت ثابت و شبیه تیمار شاهد بود. این بدان معنی است که خروج سدیم محلول و انجام آبشویی طی ۸ مرحله به طور کامل انجام شده است. مقایسه جرم خروجی سدیم از ستون تیمارهای گیاهی و سدیم محلول اولیه خاک قبل از آبشویی نیز این امر را تأیید می‌کند. در شکل ۲ دیده می‌شود گیاه روناس باعث بیشترین آبشویی سدیم از ستون خاک شد که می‌تواند به دلیل تحمل خوب این گیاه به شوری خاک و احتمالاً مورفولوژی و تراوش‌های خاص ریشه باشد. کمترین مقدار خروج سدیم در بین تیمارهای گیاهی مربوط به سببانی است که نشان دهنده اثرگذاری محدود آن در آبشویی سدیم از خاک است. تیمارهای شیمیایی کارایی تقریباً مشابهی در آبشویی سدیم داشتند و نسبت به شاهد تفاوت معنی‌داری نشان دادند (شکل ۳). با مقایسه این دو شکل چنین برداشت می‌شود که از مرحله آبشویی چهارم ( $A_4$ ) به بعد میزان سدیم آبشویی شده در تمامی تیمارها، مشابه تیمار شاهد است. بدین صورت که قبل از مرحله ۴ آبشویی سدیم تحت تأثیر از تیمارها بود ولی از این مرحله به بعد دیگر آبشویی مستقل از تیمارها بود. همچنین دیده می‌شود بیشترین مقدار سدیم تا مرحله ۳ و ۴ از ستون خاک خارج شده و در مراحل بعد، خروج سدیم حالت یکنواخت و ثابتی به خود گرفته است.



شکل ۲- مقدار سدیم زهکشی شده از ستون خاک تیمارهای گیاهی و شاهد در هر دوره آبشویی

مشاهده کرد؛ هر چند از نظر آماری ممکن است تفاوت‌های جزئی معنی‌داری وجود داشته باشد.

جدول ۵- مقادیر مربوط به EC و  $K_s$  خاک پس از آبیاری

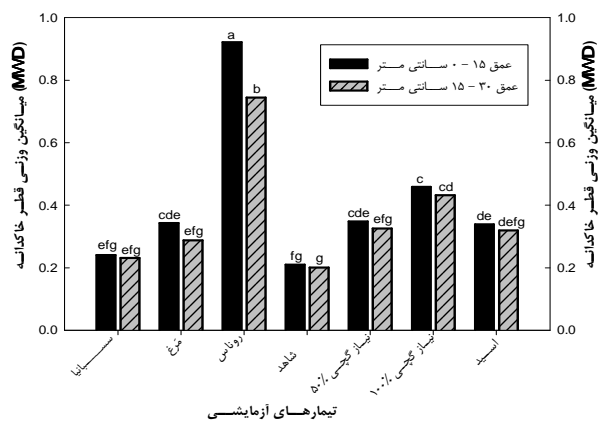
$(K_s)$ ( $\text{cm s}^{-1}$ )	EC ( $\text{dS m}^{-1}$ )		تیمارهای آزمایشی
	۱۵-۳۰ عمق cm	۰-۱۵ عمق cm	
$b_{11/1} \times 10^{-5}$	۳/۶ <sup>a</sup>	۳/۲۵ <sup>abc</sup>	سسبانيا
$b_{10/9} \times 10^{-5}$	۳/۴ <sup>abc</sup>	۳/۵۱ <sup>ab</sup>	مرغ
$a_{30/5} \times 10^{-5}$	۳/۳۲ <sup>abc</sup>	۳/۳۸ <sup>de</sup>	روناس
$b_{10/1} \times 10^{-5}$	۳/۳۱ <sup>abc</sup>	۳/۰ <sup>c</sup>	۱۰۰٪ نیاز گچی
$b_{9/5} \times 10^{-5}$	۳/۲۰ <sup>abc</sup>	۳/۱۴ <sup>bc</sup>	۵۰٪ نیاز گچی
$b_{11/0} \times 10^{-5}$	۳/۱۱ <sup>bc</sup>	۳/۰۹ <sup>bc</sup>	اسید سولفوریک
$c_{2/4} \times 10^{-5}$	۳/۳۱ <sup>abc</sup>	۳/۳۴ <sup>abc</sup>	شاهد

(ستون‌های دارای حروف لاتین مشترک در سطح اطمینان ۹۵ درصد اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر ندارند.)

که حاکی از توانایی بالای خروج سدیم از خاک توسط این گیاه است. با توجه به جدول ۴، می‌توان گفت روناس بیشترین مقدار جذب سدیم را در بخش هوایی نیز به خود اختصاص داده است. به طوری که مقدار کل سدیم جذب شده در بخش هوایی روناس ۶ برابر گیاه سسبانيا و ۱/۲ برابر گیاه مرغ است. اما به طور کلی میزان برداشت سدیم توسط گیاهان سهم چندانی در خروج سدیم از خاک ندارد. مقدار سدیم جذب شده (۱ گرم در ستون) در مقایسه با سدیم زه‌آب (۵۵/۴ گرم در ستون) بسیار ناچیز است. با توجه به جدول ۴، مشاهده می‌شود که مقدار سدیمی که در تیمار روناس از ستون خارج شده است بیشتر از کل مقدار سدیم ورودی سیستم است. کل سدیم محلول موجود در ستون خاک (سدیم اولیه خاک + سدیم ورودی) حدود ۳۶/۵ گرم بود، در صورتی که مقدار سدیم خارج شده ۱/۲ برابر این مقدار بود. این موضوع نشان دهنده این واقعیت است که گیاه روناس علاوه بر آبیاری سدیم محلول از ستون خاک، سبب انحلال بخشی از سدیم موجود در فاز جامد خاک یا جایگزینی سدیم فاز تبادل نیز شده است. گیاه روناس با ۸۸ درصد افزایش  $K_s$  نسبت به شاهد اثر گذارترین تیمار در میان تیمارهای گیاهی و شیمیایی است. مقادیر مربوط به MWD نیز نشان می‌دهد که گیاه روناس اثر گذارترین تیمار در بهبود این خصوصیت فیزیکی است. با توجه به نتایج به دست آمده و دیگر مزایای زراعی و دارویی گیاه روناس و همچنین هزینه اقتصادی کمتر آن نسبت به مواد شیمیایی، می‌توان کشت روناس را به عنوان جایگزینی مناسب برای اصلاح‌کننده‌ها پیشنهاد داد.

#### میانگین وزنی قطر خاکدانه (MWD)

همان‌طور که در شکل ۴ دیده می‌شود، MDW در مورد تیمار روناس بیشترین مقدار را دارد و کمترین مقدار آن مربوط به شاهد است. مقدار زیاد MWD در تیمار روناس می‌تواند به دلیل خروج بیشتر سدیم از خاک و همین‌طور نقش ریشه‌ها در اتصال ذرات خاک و حفظ خاکدانه‌ها باشد. با توجه به مقادیر SAR (شکل ۱) و MWD (شکل ۴) می‌توان چنین نتیجه گرفت که با کاهش SAR خاک مقدار MWD افزایش پیدا می‌کند که این نشان دهنده نقش سدیم در پراکنندگی ذرات خاکدانه است. نایاک و همکاران (۲۰۰۸) نیز نشان دادند که افزودن گچ به خاک شور سدیمی و آبیاری خاک سبب افزایش معنی‌دار MDW می‌شود.



شکل ۴- میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در تیمارهای مختلف

#### بررسی توانایی ویژه روناس در اصلاح خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

با توجه به شکل ۲ و ۳، مشاهده می‌شود میزان سدیم در زه‌آب تیمار روناس نسبت به سایر تیمارها بسیار زیاد بود

## نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به دست آمده دیده می‌شود که اگرچه بین تیمارهای گیاهی و شیمیایی تفاوت چندانی در کاهش EC و SAR خاک در مقایسه با تیمار شاهد نبود، اما اکثر تیمارهای گیاهی و شیمیایی به خصوص روناس سبب خروج تمامی سدیم محلول از خاک شده‌اند که این امر سبب عدم برگشت‌پذیری شرایط سدیمی به خاک در طول زمان می‌شود. این در صورتی است که مقدار سدیم محلول باقی‌مانده در خاک شاهد هنوز زیاد است و این سدیم محلول می‌تواند سبب بازگشت شرایط شوری و سدیمی به خاک شود. خصوصیات فیزیکی خاک نیز در تیمارهای شیمیایی و گیاهی نسبت به شاهد بهبود یافته‌اند. در این میان کشت گیاه روناس سبب بیشترین افزایش در مقدار  $K_s$  و نیز MWD شد که با دیگر تیمارهای آزمایشی تفاوت آماری معنی‌دار دارد. گیاهانی نظیر روناس که به خوبی قادر به رشد در شرایط شوری و سدیم زیاد خاک هستند، می‌توانند به صورت کارا در فرایند اصلاح خاک‌های شور-سدیمی از طریق گیاه‌پالایی به عنوان جایگزینی مناسب، سودمند و کم هزینه برای روش‌های شیمیایی استفاده شوند.

## منابع

1. هاشمی‌نژاد ی. و غلامی توران پشتهی م. ۱۳۸۷. معرفی روش مناسب پر کردن ستون‌های دست خورده خاک و ارزیابی آن جهت حصول محیط متخلخل همگن. مجله آب و خاک (علوم و صنایع غذایی). ۲۲(۲): ۴۴۷-۴۵۵.
2. 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. *Int. J. Agri. Biol.* 8(2):142-6.
3. Akhter J. Murray R. Mahmood K. Malik K. A. and Ahmed S. 2004. Improvement of degraded physical properties of a saline-sodic soil by reclamation with kallar grass (*Leptochloa fusca*). *Plant Soil.* 258(1):207-216.
4. Batra L. Kumar A. Manna M. C. and Chhabra R. 1997. Microbiological and chemical amelioration of alkaline soil by growing Karnal grass and gypsum application. *Exp. Agric.* 33(4):389-97.
5. Dashtakian K. 2000. Effect of salinity level and type on growth and chemical composition of madder. M.Sc. thesis. Shiraz University. 96 pp.
6. Derksen G. C. H. and Beek T. A. 2002. *Rubia tinctorum* L. In: Rahman A. U. (ed.). *Studies in Natural Products Chemistry*. Elsevier Science, Amsterdam. 629 p.
7. Gulhan E. A. and Taskin K. M. 1999. *Agrobacterium rhizogenes* mediated hairy root formation in some *Rubia tinctorum* L. population grown in Turkey. *Am. J. Bot.* 23(6):373-377.
8. Kaur B. Gupta S. R. and Singh G. 2002. Bioamelioration of a sodic soil by silvopastoral systems in northwestern India. *Agroforest. Syst.* 54(1):13-20.
9. Kumar A. and Abrol I. P. 1984. Studies on the reclaiming effect of Karnal-grass and para-grass grown in a highly sodic soil. *Indian J. Agric. Sci.* 54(1):189-193.
10. Mishra A. Sharma S. D. and Khan G. H. 2002. Rehabilitation of degraded sodic lands during a decade of *Dalbergia sissoo* plantation in Sultanpur district of Uttar Pradesh. *Indian Land Degrad. Dev.* 13(5):375-386.
11. Nayak A. K. Sharma D. K. Mishra V. K. Minhas P. S. and Verma C. L. 2008. Reclamation of saline-sodic soil under a rice-wheat system by horizontal surface flushing. *Soil Use Manage.* 24(4):337-343.
12. Polemio M. and Rhoades J. D. 1977. Determining cation exchange capacity: A new procedure for calcareous and gypsiferous soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41(3):524-528.
13. Qadir M. Schubert S. Ghafoor A. and Murtaza G. 2001. Amelioration strategies for sodic soils: a review. *Land Degrad. Devel.* 12(4):357-86.
14. Qhadir M. and Oster J. D. 2002. Vegetative bioremediation of calcareous sodic soils: history, mechanisms, and evaluation. *Irrigation Sci.* 21(3):91-101.
15. Qadir M. Oster J. D. Schubert S. Noble A. D. and Sahrawat K. L. 2007. Phytoremediation of sodic and saline-sodic soils. *Advance in Agronomy.* 96 p.
16. Qhadir M. Noble A. D. Schubert S. Thomas R. J. and Arslan A. 2009. Sodicity-induced land degradation and its sustainable management problems and prospects. *Land degrad. Dev.* 17(6):661-676.
17. Quirk J. P. 2001. The significance of the threshold and turbidity concentrations in relation to sodicity and microstructure. *Aust. J. Soil Res.* 39(6):1185-1217.
18. Reeve R. C. and Bower C. A. 1960. Use of high-salt waters as a flocculant and source of divalent cations for reclaiming sodic soils. *Soil Sci.* 90(2):139-144.
19. Rodrigues da Silveira K. Rosas Ribeiro M. Bezerra de Oliveira L. John Heck R. and Rodrigues da Silveira R. 2008. Gypsum-saturated water to reclaim alluvial saline-sodic and sodic soils. *Sci. Agr.* 65(3):69-76.
20. Seilsepour M. and Rashidi M. 2008. Prediction of soil cation exchange capacity based on some soil physical and chemical properties. *World Appl. Science. Journal.* 3(2):200-205.
21. Singh N. T. 1998. Historical perspective. In:



23. Tanwir F. Saboor A. and Nawaz N. 2003. Soil salinity and the livelihood strategies of small farmers: a case study in Faisalabad district, Punjab, Pakistan. *Int. J. Agri. Biol.* 5(4):440-1.
24. Van Bavel C. H. M. 1949. Mean weight diameter of soil aggregate as a statistical index of aggregation. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 14(C):20-23.
- Tyagi N. K. and Minhas P. S. (Eds.), *Agricultural Salinity Management in India*, Central Soil Salinity Research Institute, Karnal, India. 9 p.
22. Storm L. Owen A. G Godbold D. L. and Jones D. L. 2004. Organic acid behaviour in a calcareous soil implication for rhizosphere nutrient cycling. *Soil Biol. Biochem.* 37(11):2046-2054.

