

مقایسه کارایی گیاه پالایی با استفاده از سسبانا (*Sesbania acuelata*)، روناس (*Rubia tinctorum*) و مرغ (*Cynodon dactylon*) و روش های شیمیایی در اصلاح یک خاک شور- سدیمی

نجمه مظلوم^{۱*}، رضا خراسانی^۱، امیر فتوت^۱ و یوسف هاشمی نژاد^۲

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۰/۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۸/۲)

چکیده

اصلاح خاک های شور با وسعت جهانی ۸۳۱ میلیون هکتار، اقدامی مؤثر در افزایش تولیدات کشاورزی است. کشت گونه هایی از گیاهان مقاوم به شوری می تواند سبب افزایش حلالیت کلسیت و آزاد شدن کلسیم در محلول خاک و در نتیجه اصلاح خاک گردد. این تحقیق در قالب طرح کاملاً تصادفی با آرایش کرت های خرد شده در ستون هایی پر شده از یک خاک شور- سدیمی ($\text{dS m}^{-1} \text{pH}_s=7/7$, SAR= ۲۳/۸) انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل تیمارهای تحت کشت روناس (*Rubia tinctorum*)، سسبانا (*Sesbania acuelata*) و مرغ (*Cynodon dactylon*) و تیمارهای شیمیایی گچ در دو سطح ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز گچی و اسید سولفوریک به میزان اکی والانی برابر با نیاز گچی و یک شاهد، هر یک در سه تکرار اعمال شد. تمامی تیمارها با ۴۱ لیتر آب شهری به طور یکسان و به مدت ۳۰ روز در ۸ مرحله آبخوبی شدند. پس از آبخوبی، ویژگی هایی شامل نسبت جذبی سدیم (SAR) و هدایت الکتریکی (EC) خاک، مقدار سدیم موجود در زهاب و مقدار سدیم جذب شده توسط گیاهان اندازه گیری شدند. نتایج نشان داد گیاهان و بهسازی های شیمیایی به طور میانگین به ترتیب سبب ۵۹ و ۶۵ درصد کاهش SAR خاک نسبت به شاهد شدند. همچنین، تیمارهای گیاهی به استثناء گیاه سسبانا، سبب بیشترین مقدار آبخوبی سدیم از خاک گردیدند که نشان دهنده نقش مؤثر این گیاهان در انحلال و آبخوبی سدیم نامحلول یا تبادل خاک است. با توجه به نتایج این تحقیق و نیز مزیت کشت گیاه جهت حفاظت خاک، گیاه پالایی را می توان به عنوان جایگزینی مناسب و سودمند برای اصلاح خاک های شور- سدیمی مورد توجه قرار داد.

واژه های کلیدی: آبخوبی، خاک های شور- سدیمی، روش های شیمیایی، گیاه پالایی، نسبت جذب سدیم

۱. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲. مرکز ملی تحقیقات شوری یزد

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: najmeh_mazloom@yahoo.com

مقدمه

در مناطق خشک و نیمه خشک جهان، شوری و سدیمی بودن خاک یکی از نگرانی‌های جدی در بخش کشاورزی آبی است (۳، ۴ و ۲۷). برای تولید پایدار محصولات در بسیاری از مناطق دنیا، مدیریت صحیح این خاک‌ها و در صورت لزوم اصلاح آنها از طریق آبشویی، کشت گیاه و فعالیت‌های مدیریتی مناسب ضروری است. در صورت در دسترس بودن آب آبیاری کافی و زه‌کشی مناسب و نیز آهکی بودن این خاک‌ها، روش‌هایی برای اصلاح آنها با بهسازهای شیمیایی، یا کشت گیاه (گیاه‌پالایی) و یا ترکیبی از هر دو روش وجود دارد. اصلاح خاک‌های سدیمی و شور-سدیمی با وجود یک منبع قابل انحلال از کلسیم جهت جایگزینی با سدیم اضافی در مکان‌های تبادل‌ی خاک امکان‌پذیر است. سدیم رها شده از مکان‌های تبادل‌ی باید از طریق آبشویی از منطقه ریشه شسته شود. هم‌چنین بخشی از این سدیم می‌تواند توسط گیاهان جذب شود و با برداشت گیاه از مزرعه خارج شود. بسیاری از خاک‌های سدیمی و شور-سدیمی دارای منابع ذاتی یا رسوب‌یافته کلسیم هستند که به‌طور معمول کلسیت (CaCO_3) است و در اعماق مختلفی از خاک‌رخ وجود دارد. از آنجا که به‌علت حلالیت ناچیز کلسیت ($1 \text{ mmol L}^{-1} / 0.14$) به‌طور طبیعی، مقدار کافی کلسیم برای اصلاح این خاک‌ها تأمین نمی‌شود، بهسازهای شیمیایی برای این منظور مرسوم شد (۸، ۱۶). به‌تدریج و بعد از گذشت دو دهه، مشخص شد که استفاده از این مواد برای کشاورزان مقرون به صرفه نیست.

با مطالعات و تحقیقات بیشتر دانشمندان، فرضیه اصلاح خاک‌های سدیمی و شور-سدیمی به روش گیاه‌پالایی ارائه گردید (۱۰، ۲۱). گیاه‌پالایی خاک‌های سدیمی و شور-سدیمی، شاید متفاوت از مفهوم گیاه‌پالایی فلزات سنگین از خاک باشد، که در حقیقت مفهوم آن افزایش غلظت کلسیم و کاهش غلظت سدیم محلول خاک از طریق توانایی ریشه بعضی از گونه‌های گیاهی در افزایش مقدار انحلال کانی کلسیت است. این گیاهان با به‌کار بردن مکانیسم‌های مختلفی از جمله افزایش فشار جزئی دی‌اکسیدکربن در منطقه ریشه، آزادسازی پروتون و

سایر تراوشات ریشه و جذب املاح و سدیم سبب بهبود ویژگی‌های خاک می‌شوند (۱۳). گونه‌های گیاهی متعددی یافت شده‌اند که دارای اهمیت کشاورزی یا حفاظتی هستند و می‌توانند در اصلاح خاک‌های سدیمی و شور-سدیمی آهکی مؤثر باشند. در سال‌های ۱۹۲۰-۱۹۳۰، کلی و همکارانش، آزمایش‌های مزرعه‌ای ابتدایی را در کالیفرنیا انجام دادند، که از جمله اولین مطالعات در زمینه گیاه‌پالایی خاک‌های سدیمی است (۱۷). آنها در مطالعات خود از گیاهان جو (*Hordeum vulgare* L.)، ذرت شیرین هندی (*Melilotus indicus* L.)، شبدر شیرین سفید (*M. albus Medik*) و یونجه در مقابل بهسازهای شیمیایی مانند گچ استفاده کردند و مشاهده کردند کارایی گیاه‌پالایی در حد بهسازهای شیمیایی است. تاریخچه کشاورزی در شبه قاره هند نیز، کشت گونه‌های خاصی از علف‌ها و درختان مقاوم به شوری را به‌عنوان گامی مهم در مدیریت خاک‌های زیر تأثیر نمک نشان می‌دهد. گیاهان علفی خاصی که برای اصلاح این خاک‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند شامل: مرغ، کالار گراس (*Leptochloa fusca* Kunth (L.))، علوفه نیشکر (*Saccharum spontaneum* L.)، و سبانیا (*Sesbania bispinosa*) بوده‌اند (۲۵). به هر حال، گیاهان در کارایی استفاده در اصلاح خاک متفاوت هستند (۶ و ۷). به‌طور عمده، این گیاهان دارای توانایی تولید زیست‌توده زیاد، تحمل به شوری و سدیمی بودن خاک و نیز تحمل به غرقاب شدن مقطعی هستند (۹ و ۱۷). در این تحقیق روش اصلاح یک خاک شور-سدیمی با استفاده از گیاهان سبانیا (*Sesbania acuelata*)، روناس (*Rubia tinctorum*) و مرغ (*Cynodon dactylon*) از طریق بهبود برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک بررسی و با روش‌های شیمیایی رایج (کاربرد گچ و اسید سولفوریک) مقایسه شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با آرایش کرت‌های خرد شده با ۷ تیمار، سه تکرار و در دو عمق در ستون‌هایی پر شده از یک خاک شور-سدیمی به ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر و وزن

می‌گردید و پس از رسیدن آن به حدود 4 dS m^{-1} آبشویی متوقف گردید که این حجم آب برابر با ۴۱ لیتر بود. پس از اتمام دوره آبشویی از هر ستون خاک و از دو عمق ۱۵-۰ و ۳۰-۱۵ سانتی‌متری خاک یک نمونه جهت اندازه‌گیری ویژگی‌های شیمیایی به آزمایشگاه منتقل شد. اندازه‌گیری کاتیون‌های تبدالی برای تعیین درصد سدیم تبدالی (ESP) در خاک‌های شور-سدیمی زمان‌بر و دشوار است و نتایج متفاوتی را به دنبال دارد (۲۳). از طرفی مقادیر SAR محدود شده بین ۴۰-۰ در خاک‌های کشاورزی متناسب با مقادیر ESP می‌باشد (۱۳)، لذا در این تحقیق مقدار ESP از رابطه SAR و ESP اندازه‌گیری شده تعیین شد (۲۶ و ۲۸):

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

که a و b به ترتیب معادل مقادیر ثابت ۰/۰۱۴۷۵ و ۰/۰۱۲۶ هستند. pH ، EC_e ، کلیسم و منیزیم محلول به روش تیتراسیون با ۰/۰۱ EDTA نرمال، سدیم و پتاسیم محلول با دستگاه فلاپم‌فتومتر، بافت به روش هیدرومتری، کربنات کلیسیم معادل به روش تیتراسیون با سود ۰/۲۵ نرمال، ظرفیت تبدالی کاتیونی به روش پولمیو و رودز (۱۲) اندازه‌گیری و SAR و نیاز گچی نیز محاسبه شدند. مقدار سدیم علاوه بر خاک، در بخش هوایی گیاه (قراثت با دستگاه فلاپم فتومتر بعد از هضم تر بخش هوایی گیاه) و زهاب نیز تعیین گردید. برای اندازه‌گیری سدیم در کل زهاب هر ستون، بعد از هر بار آبشویی تمامی زهاب توسط یه لوله پلاستیکی درون ظروف پلاستیکی موجود در زیر ستون‌ها و تا پایان دوره آبشویی جمع‌آوری و مقدار سدیم موجود اندازه‌گیری گردید. هم‌چنین حجم دقیق زهاب برای هر ستون خاک اندازه‌گیری شد. نتایج به دست با استفاده از نرم‌افزار SAS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

۱. بررسی تغییرات SAR

خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مورد استفاده در این تحقیق در جدول ۱ ارائه گردیده است. با بررسی مقادیر EC و SAR،

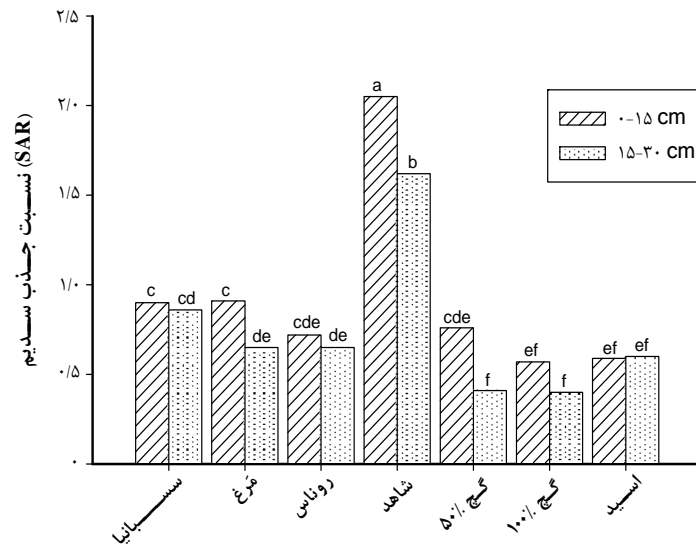
۳۷ کیلوگرم انجام شد. تیمارهای آزمایشی به ترتیب شامل سه تیمار گیاهی سسبانیا، روناس و مرغ و سه تیمار شیمیایی شامل پودر گچ به مقدار ۵۰ درصد نیاز گچی، پودر گچ به مقدار ۱۰۰ درصد نیاز گچی و اسید سولفوریک به میزان اکی‌والانی برابر با نیاز گچی و نیز یک شاهد بودند. برای زه‌کشی ستون‌های خاک، در کف آنها روزنه‌ای به قطر ۱/۵ سانتی‌متر ایجاد گردید و با یک تور پلاستیکی پوشانیده 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. بدین منظور، با توجه به حجم ستون خاک و چگالی مورد نظر، وزن خاک لازم برای هر ستون محاسبه گردید. قبل از اضافه کردن هر بخش از خاک، سطح لایه قبلی بعد از متراکم شدن به‌طور کامل خراش داده شد تا تماس کاملی با لایه بعدی داشته باشد (۱).

برای جلوگیری از جریان دیواره‌ای، سطح خاک داخل هر ستون و از جمله خاک جداره‌های ستون به خوبی کوبیده و با چسب آکواریوم آب‌بندی شد. پودر گچ به‌طور یکنواخت با لایه‌ی ۱۵ سانتی‌متری سطح خاک مخلوط گردید 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 سسبانیا (*Sesbania acuelata*) و روناس (*Rubia tinctorum*) نیز پس از ضد عفونی و جوانه‌زنی به همراه ریزوم گیاه مرغ (*Cynodon dactylon*) به تعداد سه عدد در ستون‌های خاک مربوطه کشت شدند. در طول دوره رشدی، مقدار آب اضافه شده جهت آبیاری گیاهان، محاسبه 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 $EC = 0/56 \text{ dS m}^{-1}$) در ۸ مرحله و به مدت یک ماه به‌طور یکسان آبشویی شدند. برای به دست آوردن مقدار آب مورد نیاز برای آبشویی، EC زهاب اندازه‌گیری

جدول ۱. خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مورد آزمایش

^a CCE	CEC	Ca+Mg	Na	EC _e	بافت
ESP	SAR	محلول	محلول	pH _s	لوم رسی
%	cmol _c Kg ⁻¹	meq L ⁻¹		dS m ⁻¹	
۱۵/۱۵	۲۴/۸	۴۵	۱۱۲/۹	۷/۷	۱۲/۸

^a: کربنات کلسیم معادل



تیمارهای آزمایشی

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

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 آبیاری به آنها به‌عنوان ورودی سیستم استفاده شده است. به گونه‌ای که با توجه به حجم آب مورد استفاده در آبیاری و آبیاری ستون‌ها و غلظت سدیم در آنها مقدار سدیم موجود در آب محاسبه شد. برای خروجی سیستم نیز از مقادیر کل سدیم جذب شده در بخش هوایی گیاه در هر تیمار گیاهی و مقدار کل سدیم آبیاری شده در زهاب 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

این خاک در گروه خاک‌های شور- سدیمی قرار می‌گیرد. پس از آبیاری ستون‌های خاک، در تمامی تیمارهای شیمیایی و گیاهی مقدار SAR در هر دو عمق خاک کاهش پیدا کرد (شکل ۱).

تیمار شاهد بیشترین مقدار SAR (۲/۵) را داشت که با دیگر تیمارهای گیاهی و شیمیایی دارای اختلاف آماری معنی‌دار بود. مقدار SAR در تیمارهای گیاهی و شیمیایی نیز 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 آبیاری به تنهایی برای اصلاح این خاک کافی باشد. اما با مطالعه دقیق زهاب مشخص می‌شود که مقدار سدیم خارج شده در تیمارهای گیاهی و شیمیایی به مراتب بیشتر از شاهد بوده است (جدول ۲). در جدول ۲ برای مقایسه بیان سدیم در

جدول ۲. بیان سدیم در سیستم آب، خاک و گیاه

تیمارهای آزمایشی	خاک اولیه	سدیم ورودی		سدیم خروجی		باقی مانده در خاک
		آب آبیاری	آب آبخوبی	جذب گیاه	زهاب	
	گرم در ستون	گرم در ستون	گرم در ستون	گرم در ستون	گرم	گرم در ستون
سسبانا	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
اسید سولفوریک	۳۳/۵۹	۰/۵۶	۱/۵۷	۰/۰۰	۳۶/۴۷	۰/۸۶

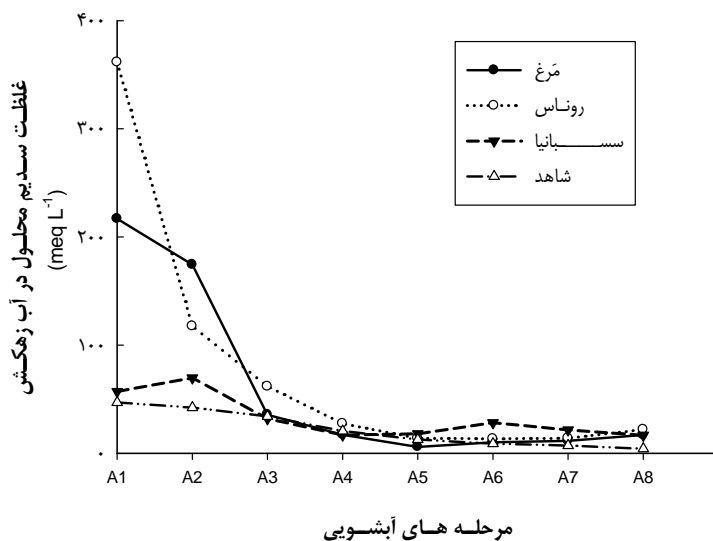
کارین رادریگوس و همکاران (۲۰۰۸) نیز در تحقیقی در برزیل با موضوع استفاده از گچ محلول در آب برای اصلاح خاک‌های شور- سدیمی دریافتند استفاده از گچ سبب کاهش معنی‌دار SAR نسبت به تیمار شاهد می‌شود. کارایی گیاه پالایی در اصلاح خاک‌های شور- سدیمی می‌تواند به دلیل فعالیت ریشه و نیز فعالیت میکروبی و تغییر محیط شیمیایی خاک باشد (۲۶). نقش فعالیت ریشه در کاهش SAR شامل موارد زیر است:

۱. افزایش فشار جزئی 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 (۱۳). علاوه بر این، تراوش اسیدهای آلی مانند سترات، ملات و اگزالات توسط ریشه گیاهان سبب افزایش حلالیت کاتیون‌هایی مثل کلسیم در خاک می‌گردد که می‌تواند با سدیم محلول جایگزین گردد (۲۵).

مقایسه SAR در دو عمق ۱۵-۰ و ۳۰-۱۵ سانتی متری 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 سانتی متری دوم خاک کاهش بیشتری داشت و این کاهش

۲/۱۳ گرم برای تیمارهای شیمیایی و شاهد) با سدیم خروجی نشان می‌دهد که به جز شاهد تقریباً در اکثر تیمارها همه سدیم محلول از ستون خاک خارج شده است. این مطلب نشان می‌دهد که کاهش SAR در شاهد بر خلاف تیمارهای آزمایشی به علت خارج شدن سدیم تبادلی از خاک نبوده، بلکه بیشتر به دلیل اثر رقت- ظرفیت (Valence dilution) (۲۰)، 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 می‌باشد.

با توجه به کاهش بیشتر SAR در تیمارهای گیاهی و شیمیایی نسبت به تیمار شاهد، می‌توان نتیجه گرفت که تنها عامل کاهش SAR در این تیمارها اثر رقت- ظرفیت نبوده و عوامل دیگری نیز در این فرآیند نقش داشته‌اند. علت کاهش SAR در تیمار گچ به دلیل انحلال گچ و آزاد شدن کلسیم در محلول خاک است که جایگزین سدیم تبادلی می‌گردد (۱۱ و ۲۴). کاهش SAR خاک در تیمار اسید سولفوریک می‌تواند به دلیل افزایش حلالیت کلسیت در حضور اسید سولفوریک و آزاد شدن کلسیم در محلول خاک باشد (۱۹، ۱۴).



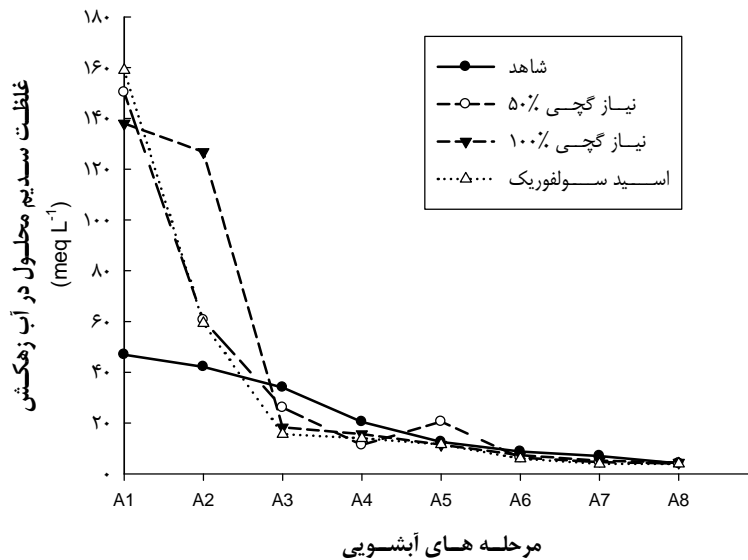
شکل ۲. مقدار سدیم زهکشی شده از ستون خاک تیمارهای گیاهی و شاهد در هر دوره آبشویی

۲. بررسی سدیم خروجی در زهاب

با بررسی غلظت سدیم در زهاب می‌توان روند خروج سدیم را در مراحل مختلف آبشویی نشان داد. شکل ۲ و ۳ به ترتیب نشان‌دهنده مقدار سدیم آبشویی شده در زهاب تیمارهای گیاهی و شیمیایی همراه با تیمار شاهد پس از ۸ مرحله آبشویی است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد، بیشترین خروج سدیم نسبت به شاهد برای تیمارهای گیاهی و شیمیایی در مراحل اولیه آبشویی انجام گرفت. 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 صورت 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 مشاهده 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 تراوشات خاص ریشه باشد. کمترین مقدار خروج سدیم در بین تیمارهای گیاهی مربوط به سسبانیاست که نشان‌دهنده اثرگذاری محدود این گیاه در آبشویی سدیم از خاک و در نتیجه اصلاح خاک است. این گیاه نسبت به دو گیاه

نسبت به عمق اول معنی‌دار بود. قدیر و همکاران نیز (۱۸) در تحقیقی با موضوع اصلاح خاک شور-سدیمی با استفاده از گچ و گیاه *Leptochloa fusca* در ستون خاک، گزارش کردند که تیمارهای آزمایشی در ۱۵ سانتی‌متری دوم خاک نسبت به خاک سطحی اثربخشی بیشتری داشته‌اند. عدم تفاوت SAR در اکثر تیمارها بیانگر این مطلب است که آبشویی به صورت کامل انجام شده و جابه‌جایی املاح از خاک سطحی به خاک عمقی صورت نگرفته است. بیشتر بودن SAR در عمق اول نسبت به عمق دوم خاک ناقض این مطلب نیست.

مقایسه بین تیمارهای گیاهی و شیمیایی نشان می‌دهد که میانگین مقدار کاهش SAR در این تیمارها تقریباً معادل هم بود. این کاهش برای تیمارهای گیاهی حدود ۵۹ درصد و برای تیمارهای شیمیایی حدود ۶۴ درصد بود. در بین تیمارهای گیاهی، گیاه روناس به‌ویژه 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. احمد و همکاران (۲) نیز گزارش کردند که کارایی کشت گیاه سسبانی و سوردن به خوبی اصلاح شیمیایی (کاربرد گچ) است.



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

۳. EC خاک

مقایسه EC خاک نشان می‌دهد که اعمال تیمارهای مورد آزمایش سبب کاهش قابل ملاحظه EC تا حدود ۳ الی ۴ dS m^{-1} گردید (جدول ۳). به نظر می‌رسد به دلیل این که مقدار آب مورد استفاده برای آبیاری تمامی تیمارها یکسان بود و همه تیمارها زمان کافی برای زهکشی کامل داشتند، کاهش EC خاک مستقل از نوع تیمار و صرفاً متأثر از آبیاری بود. لذا در مورد EC بحث خیلی زیادی احتیاج نیست. با توجه به مقادیر EC نمی‌توان تفاوت خاصی بین تیمارهای گیاهی و شیمیایی با شاهد مشاهده کرد؛ هرچند از نظر آماری ممکن است تفاوت‌های جزئی معنی‌داری وجود داشته باشد.

۴. بررسی توانایی ویژه رونس در کاهش سدیم خاک

همان‌طور که در شکل ۱ بیان شد، توانایی رونس در کاهش SAR (در عمق اول) مشابه تیمارهای شیمیایی بود. شکل ۲ و ۳ نیز نشان می‌دهند که میزان سدیم در زهاب برای تیمار رونس نسبت به سایر تیمارهای گیاهی و شیمیایی بسیار بالا بود که حاکی از توانایی زیاد خروج سدیم از خاک توسط این گیاه است. با توجه به جدول شماره ۲، می‌توان گفت رونس بیشترین مقدار جذب سدیم را در بخش هوایی نیز به خود

دیگر تحمل کمتری نسبت به شوری خاک داشت و از رشد کمتری برخوردار بود. گیاه مرغ نیز از نظر توانایی خروج سدیم از خاک در حد واسط این دو گیاه قرار گرفته است. تیمارهای شیمیایی کارایی تقریباً مشابهی در آبیاری سدیم داشتند و نسبت به شاهد تفاوت معنی‌داری نشان دادند (شکل ۳). با مقایسه این دو شکل چنین برداشت می‌شود که از مرحله آبیاری چهارم (A4) به بعد میزان سدیم آبیاری شده در تمامی تیمارها، مشابه تیمار شاهد است. بدین صورت که قبل از مرحله ۴ آبیاری سدیم متأثر از تیمارها بود ولی از این مرحله به بعد دیگر آبیاری مستقل از تیمارها بود. هم‌چنین مشاهده 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.

برای هر سه تیمار شیمیایی، بیشترین مقدار آبیاری سدیم در مرحله اول و با میزان 150 meq L^{-1} اتفاق افتاد، که این مقدار در مقایسه با تیمارهای گیاهی رونس و مرغ (به ترتیب حدود 360 و 220 meq L^{-1}) نشانگر توانایی کمتر خروج سدیم بود. در همین راستا، می‌توان به توانایی ویژه رونس نسبت به مرغ (حدود $1/6$ برابر) نیز اشاره کرد.

جدول ۳. مقادیر مربوط به EC خاک پس از آبخویی

EC		تیمارهای آزمایشی
dS m ⁻¹		
۱۵-۳۰ cm	۰-۱۵ cm	
۳/۶۰ ^a	۳/۲۵ ^{abc}	سببانی
۳/۴۰ ^{abc}	۳/۵۱ ^{ab}	مرغ
۳/۳۲ ^{abc}	۳/۳۸ ^{de}	روناس
۳/۲۱ ^{abc}	۳/۰۰ ^c	۱۰۰٪ نیاز گچی
۳/۲۰ ^{abc}	۳/۱۴ ^{bc}	۵۰٪ نیاز گچی
۳/۱۱ ^{bc}	۳/۰۹ ^{bc}	اسید سولفوریک
۳/۳۱ ^{abc}	۳/۳۴ ^{abc}	شاهد

که مقدار سدیم خارج شده ۱/۲ برابر این مقدار بود. این موضوع نشان‌دهنده این واقعیت است که گیاه روناس علاوه بر آبخویی سدیم محلول از ستون خاک، سبب انحلال بخشی از سدیم موجود در فاز جامد خاک یا جایگزینی سدیم فاز تبادل نیز شده است که این مقدار سدیم از طریق آبخویی از سیستم خارج شده است. این شرایط به میزان کمتر در مورد گیاه مرغ نیز صدق می‌کند. اما گیاه سببانی به خوبی مرغ و به خصوص روناس قادر به آبخویی سدیم از خاک نبوده است که می‌تواند به دلیل حساسیت این گیاه به شوری خاک و عدم رشد مناسب گیاه باشد.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری SAR و EC ستون‌های خاک پس از آبخویی، چنین نتیجه‌گیری می‌شود که کارایی تیمارهای شیمیایی و گیاهی در اصلاح خاک شور- سدیمی مورد نظر تقریباً یکسان بوده است، به طوری که تفاوت قابل ملاحظه‌ای در کاهش SAR و EC بین تیمارهای شیمیایی و گیاهی مشاهده نگردید. با توجه به مقادیر سدیم زهاب نیز چنین مشاهده شد که تیمارهای گیاهی و شیمیایی علاوه بر آبخویی کامل سدیم محلول خاک سبب انحلال بخشی از سدیم تبادلی یا سدیم فاز جامد نیز گردیده‌اند که این امر

اختصاص داده است. به طوری که مقدار کل سدیم جذب شده در بخش هوایی روناس ۶ برابر گیاه سببانی و ۱/۲ برابر گیاه مرغ است و این نشان‌دهنده توانایی این گیاه در جذب و برداشت سدیم از خاک است. ولی به طور کلی میزان برداشت سدیم توسط گیاهان سهم چندانی در خروج سدیم از خاک ندارد. این مقدار سدیم جذب شده (۱ گرم در ستون) در مقایسه با سدیم زهاب (۵۵/۴ گرم در ستون) بسیار ناچیز است. قدیر و همکاران نیز (۱۵) در یک ارزیابی دریافتند که برداشت سدیم توسط برداشت بخش هوایی محصولاتی مانند یونجه حدود ۱-۲ درصد کل سدیم برداشتی در فرآیند گیاه‌پالایی است. مشابه این نتایج، بارت-لنرد (۵) نیز پیش‌بینی کردند که در شرایط آبیاری نشده، محصولات هالوفیت با تولید سالانه حدود ۱۰ t ha⁻¹ و غلظت نمک برابر با ۲۵ درصد وزن خشک (۲۵۰ g kg⁻¹) نیاز به حدود ۲۰ سال متوالی برای برداشت نیمی از مقدار نمک اولیه خاک دارند.

با توجه به جدول ۲، با کسر مقدار کل خروجی سدیم (سدیم جذب گیاه شده و سدیم موجود در زهاب) از مقدار ورودی، 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

باعث عدم برگشت پذیری شرایط سدیمی به خاک در طول زمان می گردد. این توانایی ویژه در گیاه روناس مشهودتر بود. گیاهانی نظیر روناس که به خوبی قادر به رشد در شرایط شوری و سدیم زیاد خاک هستند، می توانند به صورت کارا در

فرآیند اصلاح خاک های شور- سدیمی از طریق گیاه پالایی به عنوان جایگزینی مناسب، سودمند و کم هزینه برای روش های شیمیایی استفاده شوند.

منابع مورد استفاده

1. هاشمی نژاد، ی. و غلامی توران پشته م. ۱۳۸۷. معرفی روش مناسب پر کردن ستون های دست خورده خاک و ارزیابی آن جهت حصول محیط متخلخل همگن، مجله آب و خاک (علوم و صنایع غذایی). ۲۲: ۴۴۷-۴۵۵.
2. Ahmad, N., R. H. Qureshi, and M. Qadir. 1990. Amelioration of a calcareous saline-sodic soil by gypsum and forage plants. *Land Degrad. Rehabil.* 2:277-284.
3. Ahmad, S., A. Ghafoor, M. Qadir, and M. A. Aziz. 2006. Amelioration of a calcareous saline-sodic soil by gypsum application and different crop rotations. *Intl. J. Agric. Biol.* 8:142-146.
4. Ayers, J. E. and Tanji K. K. 1999. Effects of drainage on water quality in arid and semi-arid lands. In: Skaggs, R. W. and J. Van Schilfhaarde (eds.), *Agriculture Drainage*, Pp: 831-67. ASDA-CSSA-SSSA, Madison, WI, USA
5. Barrett-Lennard, E. G. 2002. Restoration of saline land through revegetation. *Agr. Water Manage.* 53:213-226.
6. Batra, L., A. Kumar, M. C. Manna and R. Chhabra. 1997. Microbiological and chemical amelioration of alkaline soil by growing Karnal grass and gypsum application. *Exp. Agric.* 33:389-397.
7. Dagar, J. C., O. S. Tomar, Y. Kumar and R. K. Yadav. 2004. Growing three aromatic grasses in different alkali soils in semi-arid regions of northern India. *Land Degrad. Dev.* 15:143-151
8. Gupta, R. K. and I. P. Abrol. 1990. Salt-affected soils: their reclamation and management for crop production. *Adv. Soil Sci.* 11:223-288.
9. Kaur, B., S. R. Gupta and G. Singh. 2002 Bioamelioration of a sodic soil by silvopastoral systems in northwestern Indian Agroforest. *Sys.* 54:13-20.
10. Mishra, A., S. D. Sharma and G. H. Khan. 2002. Rehabilitation of degraded sodic lands during a decade of *Dalbergia sissoo* plantation in Sultanpur district of Uttar Pradesh. *Indian Land Degrad. Dev.* 13:375-386.
11. Oster, J. D. 1982. Gypsum usage in irrigated agriculture: A review. *Fert. Res.* 3:73-89.
12. Polemio, M., and J. D. Rhoades. 1977. Determining cation exchange capacity: A new procedure for calcareous and gypsiferous soils. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 41:524-528.
13. Qadir, M., J. D. Oster, S. Schubert, A. D. Noble, K. L. Sahrawat. 2007. Phytoremediation of sodic and saline-sodic soils. *Adv. Agric.* 96:197-247.
14. Qadir, M., S. Schubert, A. Ghafoor and G. Murtaza. 2001. Amelioration strategies for sodic soils: A review. *Land Degrad. Dev.* 12:357-386.
15. Qadir, M., D. Steffens F. Yan and S. Schubert. 2003b. Sodium removal from a calcareous saline-sodic soil through leaching and plant uptake during phytoremediation. *Land Degrad. Dev.* 14:301-307.
16. Qhadir, M. and S. Schubert. 2002. Degradation processes and nutrient constraints in sodic soils. *Land Degrad. Dev.* 13:275-294.
17. Qhadir, M. and J. D. Oster. 2002. Vegetative bioremediation of calcareous sodic soils: history, mechanisms, and evaluation. *Irrig. Sci.* 21:91-101.
18. Qhadir, M., R. H. Qureshi, N. Ahmad and M. Ilyas. 1996. Salt-Tolerant forage cultivation on a saline-sodic field for biomass production and soil reclamation. *Land Degrad. Dev.* 7:11-18.
19. Quirk, J. P. 2001. The significance of the threshold and turbidity concentrations in relation to sodicity and microstructure. *Aust. J. Soil Res.* 39:1185-1217.
20. Reeve, R. C. and C. A. Bower. 1960. Use of high-salt waters as a flocculant and source of divalent cations for reclaiming sodic soils. *Soil Sci.* 90:139-144.
21. Robbins, C. W. 1986. Sodic calcareous soil reclamation as affected by different amendments and crops. *Agron. J.* 78:916-920.
22. Rodrigues da Silveira, K., M. Rosas Ribeiro, L. Bezerra de Oliveira, R. John Heck and R. Rodrigues da Silveira. 2008. Gypsum-Saturated water to reclaim alluvi saline-sodic and sodic soils. *Sci. Agric.* 65:69-76.
23. Seilsepour, M., and M. Rashidi. 2008. Prediction of soil cation exchange capacity based on some soil physical and chemical properties. *World Appl. Sci. J.* 3: 200-205.

24. Shainberg, I., M. E. Summer, W. P. Miller, M. P. W. Farina, M. A. Pavan and M. V. Fey. 1989. Use of gypsum on soils: A review. *Adv. Soil Sci.* 9:1-111.
25. Singh, N.T. 1998. Historical perspective. PP. 9–19. *In*: N. K. Tyagi and P. S. Minhas (Eds.), *Agricultural Salinity Management in India* (Eds.), Central Soil Salinity Research Institute, Karnal, India.
26. Storm, L., A. G Owen, D. L. Godbold and D. L. Jones. 2004. Organic acid behaviour in a calcareous soil implication for rhizosphere nutrient cycling. *Soil Biol. Biochem.* 37:2046-2054.
27. Tanji, K. K. 1990. Nature and extent of agricultural salinity. *Agricultural Salinity Assessment and Management. Manual Rep. Eng. Practice* 71:1–17.
28. Tanwir, F., A. Saboor, and N. Nawaz. 2003. Soil salinity and the livelihood strategies of small farmers: a case study in Faisalabad district, Punjab, Pakistan. *Intl. J. Agric. Biol.* 5:440–1.

Phytoremediation of Saline-Sodic Soils by *Sesbania acuelata*, *Rubia tinctorum* and *Cynodon dactylon* Compared to Chemical Methods

N. Mazloom^{1*}, R. KHorassani¹, A. Fotovat¹ and Y. Hasheminejad²

(Received : Dec. 27-2012 ; Accepted : Oct. 23 -2012)

Abstract

The reclamation of salt-affected soils which occur on 831×10^6 ha can be effective in increasing agricultural production. Cultivation of plant species which are resistant to salinity can improve the soil by increasing the solubility of calcite and releasing the calcium in soil solution. This study was conducted as a column experiment with a saline-sodic soil (SAR = 23.8, EC= 12.88 dS m⁻¹, pH= 7.7, CaCO₃= 15.15 %). Three plant treatments including *Sesbania acuelata*, *Cyanodon dactylon* and *Rubia tinctorum*, and three chemical treatments including gypsum in two levels (50% and 100% gypsum requirement) and sulfuric acid with a control were arranged. All treatments were replicated 3 times. The soil columns were similarly leached by 41 liters of tap water during 30 days in 8 stages. After leaching, SAR and EC in soil, the amounts of sodium in leachate and total amount of sodium in plants shoot were determined. Results showed that the SAR was decreased compared to control by the plant treatments and the chemical amendments by about 59% and 65%, respectively. Moreover, two plants of *Cyanodon dactylon* and *Rubia tinctorum* had maximum amount of leachate sodium, which shows an impressive role of these plants in dissolution and leaching of exchangeable or sediment sodium in comparison with the other treatments. According to salient performance of phytoremediation in improvement of physicochemical properties of soil compared to chemical amendments, phytoremediation can be recommended as a profitable low-cost and effective method for remediation of saline-sodic soils.

Keywords: Chemical methods, Leaching, Phytoremediation, Saline-sodis soils, Sodium adsorption ratio.

1. Dept. of Soil Sci., College of Agric., Ferdowsi Univ. of Mashhad, Mashhad, Iran.

2. Nation. Salinity Res. Center, Yazd, Iran.

*: Corresponding Author, Email: najmeh_mazloom@yahoo.com