

امکان بهسازی خاک‌های شور و سدیمی با استفاده از بهسازهای شیمیایی

ابراهیم پذیرا

عضو هیئت علمی گروه خاکشناسی دانشگاه آزاد اسلامی؛ واحد علوم و تحقیقات تهران؛ ایران؛ نویسنده مسئول مکاتبات: ebrahimpazira@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۹۱/۰۲/۰۳

تاریخ دریافت: ۹۰/۰۹/۱۴

چکیده

بهسازی خاک‌های شور و سدیمی و امکان استفاده از بهسازهای شیمیایی برای اصلاح این خاک‌ها از چالش‌های مهم مربوط به حفاظت منابع آب و خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. مفهوم "کشاورزی دقیق" راهکارهای سنتی موجود در برخی از شاخه‌های علوم کشاورزی را که مبتنی بر آزمون و خطا می‌باشند به دلیل هزینه زیاد، زمان بر بودن و عدم دستیابی به نتایج قطعی آن‌هم پس از یک دوره انتظار، با چالش جدی روبرو نموده است. به همین دلیل پژوهشگران راهکار واسطه، "پژوهش‌های تطبیقی" را مطرح کرده‌اند. پژوهش‌هایی که یک بار در سطح ملی، منطقه‌ای و یا جهانی با موفقیت آزمون شده و تنها نیازمند تعدیل ضرایب محیطی می‌باشند هر چند سال‌های اخیر نوید بخش انجام طرح‌های "جامع پژوهشی" برای پاسخ دادن به چند سوال مشخص می‌باشند، لیکن هم‌زمان دیگر شرایط لازم را برای دستیابی به نتیجه مطلوب از نظر دور نمی‌دارند. در پژوهش‌های مرتبط با علوم خاک و آب در کشاورزی، آنگاه که گیاه نیز در سیستم مورد مطالعه وجود داشته باشد، وضعیت پیچیدگی مضاعفی خواهد داشت. در ارتباط با اهداف این مقاله می‌توان گفت که به جز معدودی پژوهش‌های میدانی مستند که به منظور بررسی اثرات کاربرد مواد شیمیایی در اصلاح خاک‌ها (سدیم زدایی) مورد نظر بوده، تحقیقات مورد نیاز یا انجام نشده و یا به نتایج چابکی حاصله از جمله برقراری توازن یونی، رفع محدودیت دسترسی به برخی عناصر تغذیه‌ای، بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک بخصوص افزایش نفوذپذیری و ساختمان خاک توجهی نشده است. مورد اخیر مرتبط با بی‌توجهی به مکانیسم‌های فیزیکی و به طور عمده شیمیایی اثرات کار برد مواد شیمیایی بهساز در اصلاح و بهره‌وری از خاک‌های "مسأله‌دار" کشور می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: اصلاح خاک و اراضی؛ خاک‌های شور و سدیمی؛ مواد شیمیایی بهساز

مقدمه

حدود ۲۳/۵ میلیون هکتار آن که برابر ۱۴/۲ درصد کل می‌باشد به درجات مختلف با مسایل شوری، سدیمی بودن، زهدار و حالت ماندابی روبرو بوده است. درصد بیان شده مساوی ۳۰ درصد مساحت اراضی فلات‌های کم ارتفاع و دشت‌های کشور نیز می‌باشد. اجزای مساحت مذکور مشتمل بر (Dewan and Famuri, 1964):

۷/۷ میلیون هکتار خاک‌های "آریدی سولز"^۱ و آنتی سولز^۲ شامل "خاک‌های شور و خاک‌های رسوبی شور" که به دلیل ویژگی‌های ذاتی و کیفی خاک‌ها به طور نسبی با سهولت قابل اصلاح و بهسازی است.

در قاره آسیا پس از کشورهای اتحاد جماهیر شوروی سابق، چین، هندوستان و پاکستان بیشترین گسترش سطوح خاک‌های شور، شور و سدیمی در ایران گزارش شده است (Szabolcs, 1989). شرایط اقلیمی خاص کشور موجبات تشکیل و توسعه خاک‌های مذکور را به میزان قابل ملاحظه‌ای و با پراکنش غیریکنواخت در اکثر نقاط این سرزمین فراهم آورده است. این قبیل خاک‌ها اغلب در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور پراکنده می‌باشند و به طور کلی یا از نظر وضعیت زهکشی طبیعی ضعیف بوده و یا تحت چنین شرایطی توسعه و تکوین یافته‌اند (Lees et al., 1952; Dewan and Famuri, 1964). قابل ذکر است که به استناد ارقام موجود در ایران از کل ۱۶۵/۰ میلیون هکتار اراضی سطح کشور، مساحتی

¹ Aridisols

² Entisols

(Bresler et al., 1982). نمک‌های غالب موجود در خاک شامل، کلروهای سدیم، منیزیم و کلسیم، سولفات‌های سدیم و منیزیم، کربنات‌ها و بیکربنات‌های سدیم، نترات‌ها و بورات‌ها هستند این نمک‌ها در اثر هوادیدگی سنگ‌های مادری در فرایند تشکیل خاک منشاء می‌یابند (Abrol et al., 1988).

طی این پدیده نمک‌ها به وسیله تراوشات عمقی آب به درون خاک انتقال یافته که در نهایت در اعماق زیرین نیمرخ خاک رسوب نموده و یا در شرایطی به محلول خاک منتقل می‌شوند. در حالت‌هایی که وضعیت فیزیوگرافی و توپوگرافی اراضی ایجاب نماید آن قبیل نمک‌هایی که به طبقات زیرین شسته شده‌اند سرانجام به سطوح آبی از قبیل دریاچه و یا دریا تخلیه می‌گردند (Tanji, 1990). در شرایطی مقادیر قابل ملاحظه تراکم نمک‌ها در نیمرخ خاک حاصل تجزیه و تخریب مواد مادری تشکیل دهنده خاک‌ها می‌باشند که این نوع (تیپ) شوری خاک به عنوان "شوری اولیه"^۳ و یا "شوری باقی‌مانده"^۴ دانسته می‌شود. مهم‌ترین و معمولی‌ترین حالت بروز مشکل شوری زیاد در خاک، گرایش به شوری به دلیل تجمع نمک‌ها در افق‌های سطحی نیمرخ خاک از نوعی منشاء خارجی است (Kovda, 1973). گرایش به شوری خاک ممکن است به صورت طبیعی و یا به دلیل عملیات انسانی به انجام برسد (Famuri, 1966).

عامل گفته شده اخیر در نتیجه عملیات آبیاری در مناطق با بارندگی کم که در آن میزان تبخیر زیاد، عملیات و اقدامات لازم نظیر آبخوبی یا تجهیز مزرعه به سیستم زهکشی در آن انجام نمی‌شود، اتفاق می‌افتد و در نتیجه آن تراکم سریع نمک‌ها به وقوع پیوسته که بر روی رشد و نمو گیاهان (زرعی و باغی) اثرات نامطلوبی بر جای می‌گذارد. خسارت ناشی از تجمع

۸/۲ میلیون هکتار خاک‌های "باتلاقی شور" که به طور عمده شامل رده "آریدی سولز" و گروه بزرگ "آکوئی سالیڈز"^۱ می‌باشند که اصلاح و بهسازی آن نیاز به بررسی و انجام اقدامات خاص و پیچیده‌ای دارد. ۷/۶ میلیون هکتار خاک‌های بدون تکامل و یا با تکامل خیلی کم نیمرخ خاک که بروی سنگ‌های آهکی و یا مارن‌های گچی و آهکی تشکیل شده‌اند. این قبیل خاک‌ها اغلب کم عمق بوده و بخش وسیعی از آن‌ها "شور و سدیمی" می‌باشند که به دلایل فنی و اقتصادی برای اجرای عملیات بهسازی نامناسب هستند. این خاک‌ها به طور عمده شامل رده "آنتی سولز" بوده و سطوح کمی از آن‌ها نیز در رده "آریدی سولز" قرار دارند.

تذکر این نکته نیز لازم است که فرآیندهای شوری و سدیمی شدن خاک‌ها، پدیده‌ای پویا (دینامیک) می‌باشد که به طور دائم در حال تغییر است و بدین دلیل می‌توان تصور نمود که کلیه این ارقام از زمان گزارش تاکنون تغییرات کلی نموده باشند (Ghassemi et al., 1995). از نظر کشاورزی انجام فعالیت‌های اقتصادی و بهره‌برداری از خاک‌های شور، سدیمی، زهدار و ماندابی احتیاج به رعایت ضوابط و اقدامات خاص دارد که در مقایسه با آنچه در کشاورزی با خاک و آب غیرشور مطرح است، ابعاد متفاوتی را دارا است (پذیرا، ۱۳۹۱).

مواد و روش‌ها

نمک‌های موجود در خاک به صورت یکی از اشکال: یون‌های تجزیه شده در آب خاک (محلول خاک)، کاتیون‌های جذب شده بر روی سطح ذرات رس که دارای بار منفی هستند (همتافت جذبی)^۲ و نمک‌های رسوب یافته در نیمرخ خاک می‌باشند

³ Primary Salinity

⁴ Residual Salinity

¹ Aquisalids

² Adsorption Complex

بودن^۳ است. معیارهای تشخیص و طبقه‌بندی در این سیستم به شرح زیر می‌باشند (Richards, 1954):

- هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک^۳ $[EC_e = (dS/m)]$ که اندازه‌گیری آن تابع درجه حرارت می‌باشد و به دلیل این حساسیت در روش استاندارد آن را در ۲۵ درجه سانتی‌گراد گزارش می‌نمایند.

- درصد سدیم تبدیلی^۴ (ESP) که آن را به شرح زیر می‌توان ارائه نمود (CIGR, 1999).

$$ESP = \frac{100 (0.015 \text{ adjR}_{Na})}{1 + (0.015 \text{ adjR}_{Na})} \quad (1)$$

که در آن: adjR_{Na} (نسبت جذب سدیم تعدیل شده^۵) است که آن را می‌توان از طریق رابطه زیر محاسبه نمود.

$$\text{adjR}_{Na} = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca_x + Mg}{2}}} = Na [0.5 (Ca_x + Mg)]^{-0.5} \quad (2)$$

در رابطه بالا، Na^+ و Mg^{2+} به ترتیب غلظت کاتیون‌های سدیم و منیزیم در عصاره اشباع خاک برحسب میلی‌اکی‌والنت در لیتر و Ca_x میزان تعدیل شده غلظت کاتیون کلسیم در عصاره اشباع خاک (میلی‌اکی‌والنت در لیتر) می‌باشد که اثرات اکسید دو کربن یا گاز کربنیک (CO_2)، بیکربنات (HCO_3) و شوری آب کاربردی (EC_w) بر روی کلسیم اولیه و موجود لحاظ شده است. مقادیر Ca_x را می‌توان از جداول منابع مرجع مربوطه استخراج نمود (Ayers and Wescat, 1985).

از دیدگاه اقدامات اصلاحی لازم، خاک‌های مبتلا به شوری و سدیمی بودن را می‌توان در سه گروه مجزا به نام‌های: خاک‌های شور، شور-سدیمی و سدیمی^۶ دسته‌بندی نمود (Richards, 1954).

نمک‌ها در محلول و نیم‌رخ خاک به طور اصولی مشتمل بر خشکی فیزیولوژیکی، به هم خوردن توازن یونی در محلول خاک، تخریب ساختمان خاک و کاهش فعالیت‌های بیولوژیکی در خاک می‌باشد (Hanson et al., 2006). شدت خسارات شوری بر روی گیاه مرتبط با نوع و ترکیب نمک‌ها در محلول خاک، سیستم مدیریت خاک و آستانه مقاومت (تحمل) گیاهان به شرایط شوری است.

اقدامات اصلاحی لازم

واژه "شوری یا نمکی بودن" به طور کلی مرتبط با وضعیت کیفی خاک‌هایی است که محتوی مقادیر قابل ملاحظه‌ای نمک می‌باشند به طوری که این حالت موجب اثرات نامطلوب بر روی ویژگی‌های تولیدی خاک‌ها می‌شود.

روش‌های چندی برای تجزیه نمونه‌های خاک برای تعیین میزان شوری آن وجود دارد. اکثر این روش‌ها به هر حال برای مشخص نمودن اثرات وضعیت شوری غیر کافی می‌باشند. زیرا تأثیر نمک‌ها بر روی رشد و نمو گیاه مرتبط با فاکتورهای متعددی است. این عوامل مشتمل بر ترکیب و ویژگی‌های افق‌های مختلف نیم‌رخ خاک، تغییرات فصلی محدوده خیزموئینه‌ای، عمق سطح آب زیرزمینی، درجه حرارت خاک و تغییرات فصلی آن و مرحله رشد گیاهان است (بی‌نام، ۱۳۸۱). علاوه بر آن پدیده گرایش به شوری خاک پویا (دینامیک) بوده با زمان تغییر می‌نماید و حتی به فواصل نزدیکی در سطح یک مزرعه مقدار آن در نیم‌رخ خاک متفاوت می‌باشد.

سیستم توسعه یافته به وسیله آزمایشگاه شوری کشور ایالات متحده^۲ معمولی‌ترین و رایج‌ترین روش طبقه‌بندی خاک‌های "مبتلا به شوری و سدیمی

¹ Salty

² U.S. Salinity Laboratory (USSL)

³ Electrical Conductivity of Saturated Soil Extract (ECe)

⁴ Exchangeable Sodium Percentage (ESP)

⁵ Adjusted Sodium Adsorption Ratio (adjR_{Na})

⁶ Saline, Saline – Sodic, and Sodic Soils

- خاک‌های شور^۱

خاک‌های شور مشتمل بر خاک‌هایی می‌باشند که در آن هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (ECe) بیشتر از ۴/۰ دسی زیمنس بر متر در ۲۵ درجه سانتی‌گراد و درصد سدیم تبادل (ESP) کمتر از ۱۵/۰ باشد به طور کلی در شرایط متعارف واکنش (pH) آن از ۸/۵ کمتر است.

روش‌های اصلاح این قبیل خاک‌ها مرتبط با تناسب کیفیت آب آبیاری، مقادیر کاربرد آب در مزرعه و شرایط مطلوب زهکشی (داخلی) خاک و زمین است. کاربرد مقادیر قابل ملاحظه‌ای آب محتوی نمک‌های کم برای آبخوئی به روش‌های غرقاب دایم و یا به طور ترجیحی غرقاب متناوب و یا بارانی بدین منظور مناسب می‌باشد (بی نام، ۱۳۸۱).

احداث سامانه زهکشی مناسب برای تخلیه سریع تراوشات عمقی حاصل از کاربرد آب آبخوئی و جلوگیری از خیز سطح آب زیرزمینی مورد نیاز است. در شرایطی عملیات آبخوئی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک‌ها با روش غرقاب متناوب به انجام می‌رسد که بدین ترتیب علاوه به صرفه‌جویی در میزان آب موردنیاز و کاربردی، فرصت زمانی کافی برای زهکشی ستون خاک نیز همزمان فراهم می‌گردد (Pazira and Homae, 1999).

عملیات تکمیلی اصلاح خاک و زمین ایجاد می‌نماید که پس از اجرای عملیات اصلاحی، مدیریت ویژه و مطلوبی در مورد بهره‌برداری و نگهداری زمین‌های تازه اصلاح شده به انجام رسد تا از گرایش به شوری مجدد (شوری ثانویه^۲) آن‌ها جلوگیری به عمل آید. کاربرد مقادیر آب آبیاری لازم (آب مورد نیاز گیاه + نیاز آبخوئی نمک‌ها) ضرورت دارد تا حتی نمک‌هایی که به وسیله آب آبیاری به سطح خاک و

نیمرخ آن افزوده می‌گردند، بدین وسیله آبخوئی و دفع (تخلیه) شوند.

- خاک‌های شور و سدیمی^۳

واژه "شور-سدیمی" در مورد خاک‌هایی به کار برده می‌شود که در آن هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (ECe) بیشتر از ۴/۰ دسی زیمنس بر متر (ds/m) در ۲۵ درجه سانتی‌گراد و درصد سدیم تبادل (ESP) بیشتر از ۱۵/۰ باشد. به طور معمول میزان واکنش (pH) این نوع خاک‌ها بندرت بیشتر از ۸/۵ است.

این قبیل خاک‌ها منتج از دو فرایند "گرایش به شوری^۴" و "گرایش به سدیمی شدن^۵" می‌باشند. هرگاه غلظت نمک‌ها در محلول خاک کاهش حاصل نماید، مقادیری از سدیم تبادل (هیدرولیز^۶) گردیده و تشکیل هیدرواکسیدسدیم (NaOH) را می‌دهد این نمک ممکن است ضمن واکنش با اکسید دو کربن یا گازکربنیک (CO₂) که از اتمسفر جذب می‌شود نمک کربنات سدیم (CO₃Na₂) را ایجاد نماید. طی عملیات آبخوئی خاک، امکان دارد خاک به شدت "سدیمی" گردیده و در اثر تخریب و گسیختگی خاکدانه‌ها و تبدیل آن‌ها به ذرات بسیار ریز، شرایط نامطلوبی را برای ورود و تحرک آب در خاک و عملیات خاک‌ورزی فراهم آورد (Walworth, 2006).

قابل ذکر است که در صورت بازگشت دوباره نمک‌های محلول به خاک، ذرات خاک ممکن است همآوری (منعقد) گردند. مدیریت اصلاحی خاک‌های شور و سدیمی بایستی تا تخلیه و دفع نمک‌های محلول مازاد و سدیم تبادل از محدوده توسعه ریشه گیاهان هم چنان استمرار داشته باشد و تا حصول نتیجه مطلوب این قبیل خاک‌ها به صورت "مسئله‌دار" باقی بمانند (Dregne, 1979).

³ Saline – Sodic Soils

⁴ Salinization

⁵ Sodification

⁶ Hydrolyze

¹ Saline Soils

² Secondary Salinization

خاک‌های شور و سدیمی، راندمان واقعی کاربرد ماده یا مواد اصلاحی کمتر است. بدین دلیل توصیه می‌گردد که میزان گچ (ژیپس) محاسبه شده با لحاظ نمودن مقادیر معادل کربنات و بی‌کربنات سدیم آزاد در خاک افزایش داده شود. علاوه بر آن درجه خلوص گچ قابل دسترسی نیز بایستی مورد امعان نظر بوده و در محاسبات میزان کاربردی لحاظ گردد (Richards, 1954; Ritzema, 1994). جدول (۱) مقادیر گچ، گوگرد و اسید سولفوریک لازم برای جایگزینی با مقادیر معینی سدیم تبادلی را نشان می‌دهد.

به منظور انجام عملیات اصلاح اراضی، گچ (ژیپس) را می‌توان از طریق آب آبیاری نیز به کار برد که این روش در مقایسه با توزیع و اختلاط گچ با خاک لایه سطحی و یا کاربرد سایر انواع مواد اصلاح کننده ارزان تر است. لیکن در این روش میزان گچ مورد نیاز و مصرف زیادتر و فرایند اصلاح خاک آهسته تر می‌باشد. زیرا ساده ترین روش کاربرد گچ به وسیله آب آبیاری ایجاد شکاف در جدار کیسه گچ و یا قراردادن قطعات سنگ گچ با اندازه‌های ۵-۲۰ کیلو گرم در نهر آبیاری و در محلی که جریان در آن متلاطم است می‌باشد لیکن در صورت نیاز به مصرف مقادیر زیاد کاربرد آن از طریق آب آبیاری غیر عملی می‌باشد زیرا هر میلی اکی والنت در لیتر کلسیم برابر با ۸۶ کیلوگرم گچ خالص در ۱۰۰۰ متر مکعب آب می‌باشد (Ayers and Wescat, 1985).

گوگرد نیز ماده اصلاحی ارزان قیمتی است که موارد کاربرد از آن عمومیت زیادی دارد. لیکن مصرف آن نیز با محدودیت‌هایی به همراه است. زیرا باکتری‌های "تیوباسیلیوس" موجود در خاک باید ابتدا با اکسید نمودن گوگرد آن را به اسید سولفوریک تبدیل نماید.

سپس یون هیدروژن اسید متذکره بایستی با آهک خاک واکنش نموده و کلسیم آن را آزاد نماید تا با

به طور کلی اصلاح خاک‌های شور و سدیمی نیاز به کاربرد مواد اصلاح کننده (بهسازی) دارد که در این رابطه کاربرد موادی مانند گچ، گوگرد و یا اسید سولفوریک برای جایگزینی یون سدیم (Na^+) معمول است. از جمله نکات مهم در این ارتباط آن است که مواد اصلاح کننده باید قبل از عملیات آبخوئی به خاک اضافه شوند (در روش کاربرد مستقیم مواد اصلاح کننده خاک). میزان ماده اصلاحی مورد نیاز^۱ (AR) را می‌توان از رابطه زیر محاسبه نمود (Ayers and Wescat, 1985; Abrol et al., 1988; Hornek et al., 2007).

$$AR = \left(\frac{ESP_{in} - ESP_{fn}}{100} \right) . CEC \quad (3)$$

که در آن: CEC ظرفیت تبادل کاتیونی^۲ بر حسب میلی‌اکی‌والنت در یکصد گرم خاک خشک، ESP_{in} و ESP_{fn} به ترتیب مقادیر درصد سدیم تبادلی اولیه (قبل از عملیات اصلاحی) و نهایی (مورد انتظار و بعد از اجرای عملیات اصلاحی) و AR میزان ماده اصلاحی مورد نیاز بر حسب میلی‌اکی‌والنت در یکصد گرم خاک خشک است. به عنوان مثال هرگاه $ESP_{in} = 30$ ، $ESP_{fn} = 10$ و $CEC = 20$ باشد، مقدار $AR = 4/0$ میلی‌اکی‌والنت ماده اصلاح کننده در یکصد گرم خاک خشک محاسبه می‌شود. هرگاه ماده اصلاحی مورد نظر گچ (ژیپس^۳) باشد (یک میلی‌اکی‌والنت گچ در یکصد گرم خاک خشک برابر با ۸۶۰ قسمت در میلیون است)، گچ مورد نیاز برای یک هکتار زمین و برای عمق اصلاحی ۱۵ سانتی‌متر (به وزن تقریبی^۴ $10^6 \times 2/21$ کیلوگرم) برابر با ۷۵۸۵ کیلوگرم در هکتار خواهد بود. محاسبات گفته شده بر مبنای ۱۰۰ درصد جایگزینی کلسیم با سدیم است. به دلیل وجود مقادیر آزادی سودا^۴ در برخی

¹ Amendment Requirement

² Cation Exchange Capacity

³ Gypsum

⁴ Soda

سديم جذب سطحی شده جایگزین گردد و فقط در کل این فرایندها ممکن است ماههائی از سال به طول آن صورت است که سديم مهیای آبشویی می باشد که بیانجامد (Lal et al., 2003).

جدول ۱- مقادیر مواد اصلاح کننده (گچ، گوگرد و اسید سولفوریک) لازم جهت اعماق متفاوت نیمرخ خاک برای جایگزینی با مقادیر مشخصی سديم تبادلی، برحسب تن در هکتار

میزان سديم تبادلی (میلی اکی والنت در ۱۰۰ گرم خاک خشک)		گچ (ژیپس)		گوگرد عنصری		اسید سولفوریک غلیظ	
۱۵-۰	۳۰-۰	۱۵-۰	۳۰-۰	۱۵-۰	۳۰-۰	۱۵-۰	۳۰-۰
(ساتی متری)	(ساتی متری)	(ساتی متری)	(ساتی متری)	(ساتی متری)	(ساتی متری)	(ساتی متری)	(ساتی متری)
۱/۸۹	۳/۸۸	۰/۳۶	۰/۷۲	۱/۰۸	۱/۰۸	۲/۱۵	۲/۱۵
۳/۸۷	۷/۷۴	۰/۷۳	۱/۴۷	۲/۲۱	۲/۲۱	۴/۴۱	۴/۴۱
۵/۶۷	۱۱/۳۴	۱/۰۸	۲/۱۵	۳/۲۳	۳/۲۳	۶/۴۶	۶/۴۶
۷/۵۶	۱۵/۱۲	۱/۴۴	۲/۸۷	۴/۳۷	۴/۳۷	۸/۶۲	۸/۶۲
۹/۴۵	۱۸/۹۰	۱/۷۹	۳/۵۹	۵/۳۹	۵/۳۹	۱۰/۷۷	۱۰/۷۷
۱۱/۳۴	۲۲/۶۸	۲/۱۵	۴/۳۱	۶/۴۶	۶/۴۶	۱۲/۹۳	۱۲/۹۳
۱۳/۳۳	۲۶/۶۶	۲/۵۱	۵/۰۳	۷/۵۴	۷/۵۴	۱۵/۰۸	۱۵/۰۸
۱۵/۱۲	۳۰/۲۴	۲/۸۷	۵/۷۵	۸/۶۹	۸/۶۹	۱۷/۲۴	۱۷/۲۴
۱۷/۰۱	۳۴/۰۲	۳/۲۳	۶/۴۶	۹/۷۰	۹/۷۰	۱۹/۳۹	۱۹/۳۹
۱۸/۹۰	۳۷/۸۰	۳/۵۹	۷/۱۸	۱۰/۷۷	۱۰/۷۷	۲۱/۵۵	۲۱/۵۵

- ارقام محاسبه شده در متن جدول برحسب ۰/۰۱ اعشاری گرد شده اند.

- میزان جرم مخصوص ظاهری خاک برابر ۱/۴۷ تن (متریک) در مترمکعب منظور شده است.

- وزن خاک یک هکتار زمین به ضخامت های ۰/۱۵ و ۰/۳ متر به ترتیب برابر با $۱۰^۶ \times ۲/۲۱$ و $۱۰^۶ \times ۴/۴۲$ کیلوگرم منظور گردیده است.

جدول ۲- ویژگی های شیمیائی انواع مواد اصلاح کننده

ردیف	نام ماده اصلاح کننده خاک	فرمول شیمیائی	حالت فیزیکی	مقدار معادل یک کیلوگرم شیمیائی خالص
				گچ (ژیپس) کیلوگرم / گوگرد عنصری کیلوگرم
۱	گچ (ژیپس)	CaSO ₄ , 2 H ₂ O	معدنی سفیدرنگ	۱/۰۰
۲	گوگرد عنصری	S ₈	ماده زرد رنگ	۰/۱۹
۳	اسید سولفوریک	H ₂ SO ₄	مایع خورنده	۰/۵۷
۴	کربنات کلسیم	CaCO ₃	ماده معدنی سفیدرنگ	۰/۵۸
۵	کلرور کلسیم	CaCl ₂ , 2 H ₂ O	نمک سفیدرنگ	۰/۸۵
۶	سولفات فرو	FeSO ₄ , 7 H ₂ O	نمک آبی متمایل به سبز	۱/۶۱
۷	سولفات فریک	Fe ₂ (SO ₄) ₃ , 9 H ₂ O	نمک زرد متمایل به قهوه ای	۱/۰۹
۸	سولفات آلومینوم	Al ₂ (SO ₄) ₃ , 18 H ₂ O	دانه ای و خورنده	۱/۲۹
۹	پیریت (۳۰٪ گوگرد)	Fe S ₂	ماده معدنی زرد تیره	۰/۶۳
۱۰	پلی سولفور کلسیم	CaS _x	جامد (و یا پودر)	۰/۷۷
۱۱	سولفور آهک	۲۴٪ گوگرد عنصری و ۹٪ کلسیم	محلول زرد مایل به قهوه ای	۰/۷۸
۱۲	نیترات کلسیم کریستاله	Ca (NO ₃) ₂ 2H ₂ O	جامد	۱/۱۶

* مواد اصلاح کننده مندرج در ردیف های ۲، ۴، ۹ و ۱۰ را باید به سطح خاک مزرعه اضافه (توزیع و اختلاط با خاک افق سطحی) نمود، سایر مواد اصلاح کننده را می توان به آب (آبیاری) و یا سطح خاک مزرعه اضافه نمود.

- خاک‌های سدیمی^۱

خاک‌های سدیمی، خاک‌هایی هستند که در آنها میزان درصد سدیم تبادل (ESP) بیشتر از ۱۵/۰ و هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (ECe) کمتر از ۴/۰ دسی زیمنس بر متر (ds/m) در ۲۵ درجه سانتی‌گراد باشد. میزان واکنش (pH) آن بین ۸/۵ تا ۱۰/۰ متفاوت است. این خاک‌ها به طور معمول به صورت محدوده‌های کوچک و غیر منظم در مناطق خشک و نیمه خشک یافت می‌گردند که اغلب به عنوان "نقاط چرب"^۲ نامیده می‌شوند (Bresler et al., 1982).

کاهش (تخلیه و دفع) نمک‌های محلول مازاد (آبشویی نمک‌ها) در این قبیل خاک‌ها موجب افزایش میزان آبکافت (هیدرولیز) سدیم تبادل گردیده و می‌تواند موجب افزایش واکنش (pH) خاک گردد. علاوه بر آن فرایند تبخیر ممکن است موجب رسوب مواد آلی موجود در محلول خاک بر روی سطح اراضی گردیده و در نتیجه آن قشر سیاه رنگی در سطح خاک تشکیل گردد (Richards, 1954).

از ویژگی‌های این نوع خاک‌ها وجود کربنات‌های سدیم، بی‌کربنات سدیم و سایر نمک‌های سدیم در محلول خاک می‌باشد. وفور و حضور این قبیل نمک‌ها در خاک‌های بدون گچ (ژیپس) می‌تواند خطر ساز و بسیار مضر باشد. ویژگی‌های فیزیکی این قبیل خاک‌ها تحت تأثیر سدیم تبدالی قرار دارد به طوری که هر چه میزان درصد سدیم تبادل (ESP) خاک افزایش یابد، تخریب ساختمان خاک و گسیختگی خاکدانه‌ها بیشتر تسریع می‌گردد (Walworth, 2006). میزان واکنش (pH) محلول خاک ممکن است گاهی به ۱۰/۰ نیز برسد در این میزان واکنش (pH) زیاد و در صورت وجود یون‌های کربنات، کلسیم و منیزیم

ترسیب نموده که در نتیجه آن افزایش غلظت سدیم (غالبیت کاتیون سدیم) در محلول خاک اتفاق می‌افتد (Kovda, 1961).

اصلاح و بهسازی خاک‌های سدیمی اقدامی بسیار مشکل است زیرا به دلیل نفوذپذیری بسیار آهسته این قبیل خاک‌ها انتقال مواد اصلاح کننده به وسیله آب به کلونیدهای خاک بسیار کند صورت می‌گیرد. اختلاط مکانیکی و شخم عمیق ممکن است در این مورد مؤثر باشد زیرا بدینوسیله مواد اصلاحی به طور مستقیم به درون خاک انتقال یافته، همچنین مجاری (معاور) لازم برای عبور تراوشات عمقی آب نیز ایجاد می‌گردد.

در مراحل اولیه اصلاح خاک‌های سدیمی کاربرد آب‌های شور در مقایسه با آب‌های متعارف مطلوبتر است، زیرا نمک‌های موجود در آب کاربردی به هم‌آوری (انعقاد) کلونیدهای خاک کمک می‌نماید که در نتیجه آن نفوذپذیری خاک به میزان دو تا سه برابر افزایش خواهد یافت. در این رابطه آب‌های محتوی کلسیم بیشتر مؤثر می‌باشد، زیرا این کاتیون می‌تواند جایگزین سدیم تبادل خاک گردد (Hornek et al., 2007).

ویژگی‌های خاک‌های مبتلا به شوری و سدیمی بودن در کشور

- خاک‌های شور و سدیمی

این قبیل خاک‌ها در کشور محتوی مقادیر قابل ملاحظه‌ای نمک‌های محلول هستند، رنگ این نوع خاک‌ها به طور معمول روشن بوده و از نظر میزان مواد آلی فقیر و دارای سطوحی به طور نسبی سخت با ساختمان دانه‌ای و شکننده می‌باشند. نوع نمک‌ها را در خاک‌های گفته شده، در درجه نخست به طور عمده کلرورها و پس از آن سولفات‌ها تشکیل می‌دهند. سولفات‌ها به میزان قابل ملاحظه‌ای به

¹ Sodic Soils

² Slick Spots

شکل سولفات سدیم در خاک‌های شور و سولفات کلسیم در خاک‌های گچی یافت می‌شوند. بافت این خاک‌ها ممکن است از لوم سیلت‌دار تا لوم رسی و حتی رسی تغییر نماید. لیکن افق زیرین این قبیل خاک‌ها، اغلب از نوعی رس سنگین، دانه‌ریز و چسبنده تشکیل یافته است (بی نام، ۱۳۸۱).

از مشخصه‌های بارز دیگر این نوع خاک‌ها وجود قشر نمکی مشخصی در لایه سطحی و تغییر ساختمان لایه زیرین، به دانه است. همانگونه که بیان گردید به دلیل وفور نمک‌های محلول در این خاک‌ها و پفی بودن سطح خاک، آن‌ها را از سایر خاک‌ها متمایز می‌نماید. به طوری که از نظر وضع ظاهری این خاک‌ها تفاوت زیادی با خاک‌های غیر شور و حتی خاک‌های با شوری کم دارند، به دلایل گفته شده فقط گیاهان مقاوم و یا متحمل به شوری قادر به رویش در این خاک‌ها می‌باشند که آن‌ها را تحت عنوان گیاهان "شور پسند" یا "هالوفیت‌ها"^۱ می‌نامند. یادآوری می‌گردد که عدم وجود لایه‌ای (قشری) نمکی در سطح این خاک‌ها به معنی شور نبودن این قبیل خاک‌ها نمی‌باشد و در این مورد بایستی سایر ویژگی‌های کیفی و ظاهری بیان شده را مورد بررسی قرار داد. تذکر این نکته نیز ضروری است که به دلیل آهکی بودن منشاء این خاک‌ها میزان واکنش (pH) آن‌ها در اکثر حالت‌ها از ۸/۰ - ۸/۵ متغیر است (Szabolcs, 1989).

- خاک‌های سدیمی

خاک‌های سدیمی کشور حاصل آبشویی ناقص نمک‌های محلول از نیم‌رخ خاک‌ها است. گرایش این خاک‌ها به سمت سدیمی شدن، متأثر از شوری و به دلیل عدم مدیریت آبیاری در خاک‌های با زهکشی ضعیف است. خاک‌های سدیمی بطور معمول به صورت لکه‌های پراکنده در اراضی شور، شور و سدیمی و یا در سایر انواع خاک‌ها یافت می‌شوند. این

خاک‌ها در اراضی فاقد مواد آلی دارای افق سطحی به رنگ تقریبی روشن هستند که نمک‌های محلول آن آبشویی شده و به روی طبقه تیره رنگ تری استقرار دارند. مواد آلی خاک‌های سدیمی، تحت تأثیر سدیم به شدت انتشار یافته و سطح ذرات خاک را می‌پوشاند و در نتیجه منجر به ایجاد رنگ تیره در سطح خاک می‌گردد. این قبیل خاک‌ها اغلب دارای ساختمان ستونی و یا منشوری بوده و میزان نمک‌های محلول عصاره اشباع آن‌ها از خاک‌های شور بسیار کمتر است. مقدار رس طبقه سطحی خاک‌های سدیمی کشور زیاد و حتی گاه میزان آن به ۶۰ درصد نیز می‌رسد. در اکثر حالت‌ها این نوع خاک‌ها از نظر مواد آلی نیز فقیر می‌باشند. خاک‌های سدیمی در ایران نیز منشاء آهکی داشته و لیکن مقدار کربنات کلسیم لایه سطحی آن‌ها از خاک‌های شور کمتر گزارش شده است (Szabolcs, 1989).

خاک‌های سدیمی شخم خورده نیز از نظر وضعیت ظاهری از سایر انواع خاک‌ها متمایز می‌باشند. زیرا ساختمان کلوخه‌ای لایه شخم خورده و رنگ خاکستری آن به وضوح قابل رویت است. در کف شیارهای حاصل از شخم نیز ساختمان منشوری و ستونی با گوشه‌های نامنظم مشهود می‌باشد.

در خاک‌های سدیمی، شکل ظاهری به تنهایی نمی‌تواند عامل قابل اطمینانی در تشخیص قطعی آن‌ها باشد. زیرا بعضی از خاک‌ها از نظر وضعیت ظاهری شباهت کاملی با خاک‌های سدیمی داشته، لیکن مرحله "سدیمی شدن"^۲ را طی نکرده‌اند. این خاک‌ها را خاک‌های "شبه قلیائی یا پسودوسولونتز"^۳ می‌نامند. بنابراین معیار صحیح برای تشخیص این خاک‌ها نتایج تجزیه آزمایشگاهی نمونه‌های خاک می‌باشد. به هر حال این قبیل خاک‌ها از نظر مواد غذایی بسیار فقیر

² Sodification

³ Pseudosolonetz

¹ Halophyte

هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک پس از آبشویی بدون بعد و (D_w/D_s) نسبت عمق آب کاربردی (آبشویی) به واحد عمق خاک، بدون بعد می‌باشد. با استفاده از هر کدام از روابط (۴) و (۵) می‌توان عمق آب مورد نیاز برای آبشویی (D_w) را به شرح زیر برآورد یا محاسبه نمود.

$$D_w = D_s \cdot \left[\frac{1}{5} \left(\frac{EC_i}{EC_f} \right) + 0.15 \right] \quad (6)$$

در شرایطی که اطلاعات لازم در دسترس باشد می‌توان به جای D_w (عمق ناخالص آب آبشویی)، D_{lw} (عمق خالص آب آبشویی) را بدون آنکه در روابط بیان شده، تغییری ایجاد نماید به کار برد. زیرا D_{lw} از طریق کسر میزان کمبود رطوبت خاک لایه مورد نظر D_s (تا حد ظرفیت مزرعه) از عمق آب کاربردی D_w به دست خواهد آمد.

استفاده از رابطه یا مدل تجربی Reeve (۱۹۵۷) برای سالیان متمادی در اکثر نقاط جهان و کشور عمومیت کاربرد داشته است.

رابطه تجربی دیگری به وسیله Kovda (۱۹۶۱) برای بیان نیاز اصلاحی اراضی، به شرح زیر ارائه شده است:

$$Y = n_1 \cdot n_2 \cdot n_3 X (400) \pm 100 \quad (7)$$

که در آن Y : عمق آب مورد نیاز آبشویی بر حسب میلی‌متر، X میزان متوسط شوری عمق ۲/۰ متری نیمرخ خاک بر حسب درصد، n_1 ضریب مرتبط با بافت خاک (برای خاک‌های شنی، لومی و رسی به ترتیب برابر با ۰/۵، ۱/۰ و ۲/۰)، n_2 ضریب عمق سطح ایستابی آب زیرزمینی (برای اعماق کمتر از ۲، ۵-۲ و ۷-۵ متری به ترتیب مقدار آن برابر با ۳/۰، ۱/۵ و ۱/۰) و n_3 ضریب مرتبط با شوری آب زیرزمینی (برای

بوده و ویژگی‌های فیزیکی نامناسبی دارند. ضمن آنکه در اکثر شرایط به دلیل سنگینی بافت خاک در ایام خشکی دارای سطوح سخت و ترک خورده می‌باشند (Pazira, 1999; Kovda, 1973).

نیاز اصلاحی اراضی شور، شور و سدیمی

به طور کلی خارج نمودن نمک‌های محلول و تراکم یافته در نیمرخ خاک‌های بسیار شور و یا شور و سدیمی به عنوان عملیات "اصلاح اراضی"^۱ تعریف گردیده است. بنابراین نیاز اصلاحی^۲ (RR) با نیاز آبشویی^۳ (LR) تفاوت معنی‌داری را داراست. اولین رابطه کمی و تجربی برای بیان نیاز اصلاحی اراضی، بر مبنای آزمایش‌های مزرعه‌ای (میدانی) اصلاح خاک و اراضی به وسیله Reeve (۱۹۵۷) به شرح زیر ارائه گردید.

$$\frac{D_w}{D_s} = \frac{1}{5 \left(\frac{EC_f}{EC_i} \right)} + 0.15 \quad (8)$$

که در آن D_w : عمق آب نفوذ یافته (آبشویی) برای لایه خاکی به ضخامت D_s ، EC_i و EC_f به ترتیب غلظت (یا هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک) متوسط شوری در کل نیمرخ خاک قبل و پس از آبشویی نمک‌های محلول، D_s ضخامت افق یا لایه مورد نظر برای عملیات اصلاحی است. رابطه بالا را به صورت زیر نیز می‌توان ارائه داد.

$$\frac{D_w}{D_s} = \frac{EC_i}{5 \cdot (EC_f)} + 0.15 = \frac{1}{5} \left(\frac{EC_i}{EC_f} \right) + 0.15 \quad (9)$$

در این رابطه: (EC_i/EC_f) نسبت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک قبل از آبشویی به

¹ Land Reclamation

² Reclamation Requirement

³ Leaching Requirement

رهنمودی مطلوب و مناسب برای انتخاب نوع ماده اصلاح کننده شیمیائی خاک‌ها می‌باشند. علاوه بر آن سطح (درجه) اصلاحی مورد نظر در خاک‌ها و ملاحظات اقتصادی در خصوص تهیه و کاربرد نیز از جمله عواملی می‌باشند که در انتخاب نوع ماده اصلاحی بایستی مورد امان نظر قرار گیرند (Mahday, 2011). به طور کلی مواد شیمیائی اصلاح کننده خاک‌های مبتلا به مشکل سدیمی بودن را می‌توان در سه گروه دسته‌بندی نمود.

گروه اول: نمک‌های محلول کلسیم از قبیل کلرور کلسیم و گچ (ژپس).
گروه دوم: اسیدها یا مواد مولد اسید، شامل گوگرد، اسید سولفوریک (غلیظ)، سولفات آهن، سولفات آلومینیوم و سولفور آهک.
گروه سوم: نمک‌های کلسیم کم محلول (که ممکن است منیزیم نیز داشته باشند) از قبیل سنگ آهک خرد شده (آسیاب شده) و آهک به عنوان فرآورده جانبی کارخانه‌های قندسازی.
هم چنین خاک‌های سدیمی را نیز می‌توان در سه کلاس مختلف و در ارتباط با عکس‌العمل آن‌ها نسبت به کاربرد مواد اصلاح کننده به شرح زیر طبقه‌بندی نمود (Lal et al., 2003).

شوری‌هایی کم، زیاد و بسیار زیاد به ترتیب ۱، ۲ و ۳ می‌باشد.

در سال‌های اخیر روابط متعددی با فرم ریاضی معکوس، نمایی، نیمه لگاریتمی و توانی برای برآورد آب مورد نیاز اصلاحی خاک‌های مناطق مختلف کشور ارائه گردیده است، که کاربرد آن‌ها منطقی‌تر از روابط (مدل‌های) گفته شده می‌باشد (پذیرا، ۱۳۸۵).

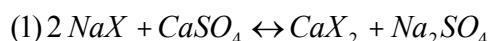
تعیین نوع و مقدار مواد اصلاح کننده خاک‌های

شور و سدیمی، سدیمی

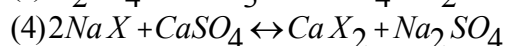
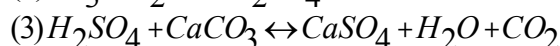
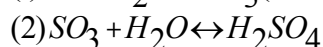
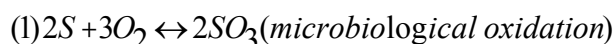
اصلاح و بهسازی خاک‌های شور-سدیمی و سدیمی مشتمل بر خارج نمودن نمک‌های اضافی (مازاد) و به خصوص دفع سدیم تبادلی تا میزان مجاز و مطلوب می‌باشد. آبشویی و زدودن سدیم تبادلی خاک از طریق کاربرد مواد اصلاح کننده شیمیائی خاک‌ها مقدور است. زیرا مواد اصلاح کننده موجب کاهش واکنش (pH) خاک می‌گردند که در نتیجه آن سدیم تبادلی از طریق جایگزینی آن با کاتیون کلسیم، کاهش خواهد یافت. به همین ترتیب مقادیر کربنات سدیم آزاد در محلول خاک نیز پس از انجام فعل و انفعالات (واکنش‌ها) شیمیائی از محیط (محدوده توسعه ریشه گیاه) خارج خواهد شد. میزان واکنش (pH) و مقدار کربنات‌های قلیائی خاکی موجود در آن

خاک‌های کلاس I: محتوی کربنات‌های قلیائی خاکی

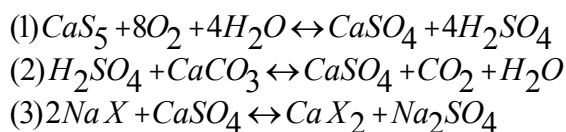
گچ: (Gypsum)



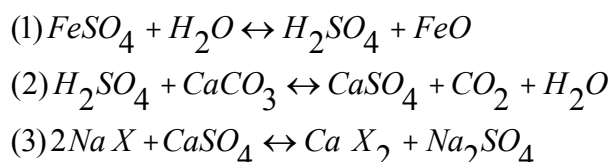
گوگرد: (Sulphur)



سولفات آهک : [Lime Sulphur (Calcium Polysulfide CaS_5)]

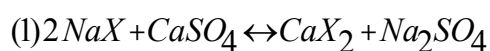


سولفات آهن : (Iron Sulphate)

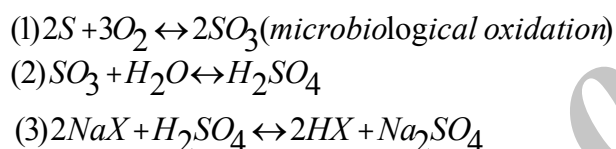


خاک‌های کلاس II: که میزان واکنش (pH) آن‌ها از ۷/۵ بیشتر لیکن فاقد کربنات‌های قلیایی خاکی می‌باشند.

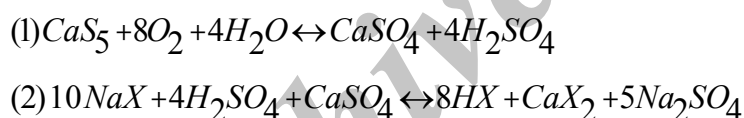
گچ : (Gypsum)



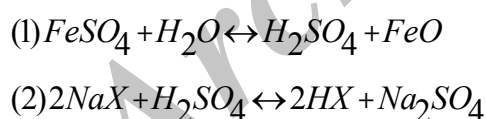
گوگرد : (Sulphur)



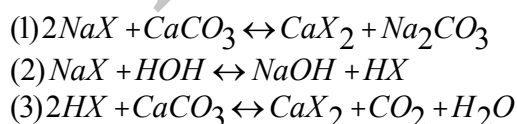
سولفات آهک : (Lime Sulphur)



سولفات آهن : (Iron Sulphate)

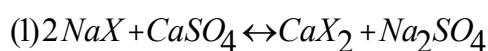


سنگ آهک : (Lime - Stone)

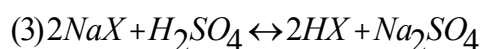
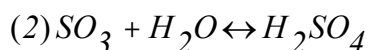
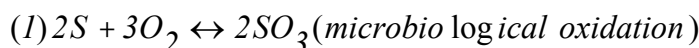


خاک‌های کلاس III: که میزان واکنش (pH) آن‌ها از ۷/۵ کمتر همچنین فاقد کربنات‌های قلیایی خاکی هستند.

گچ : (Gypsum)



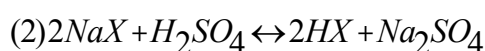
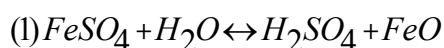
گوگرد : (Sulphur)



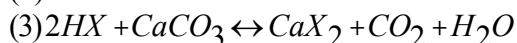
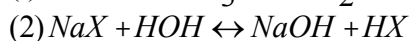
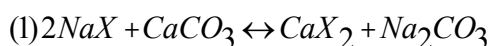
سولفات آهک : (Lime - Sulphur)



سولفات آهن : (Iron Sulphate)



سنگ آهک : (Lime - Stone)



ویژگی های شیمیائی انواع مواد اصلاح کننده در قبل در جدول (۲) ارائه شده است. در ایران خاک های سدیمی تخریب یافته ای که به طور کلی فاقد نمک کربنات کلسیم باشد به ندرت یافت می شود. بنابراین در چنین شرایطی هر گاه تمهیدات لازم برای افزایش میزان حلالیت کربنات کلسیم به انجام رسد، نیازی به کاربرد مواد اصلاح کننده نمی باشد. مهمترین راه کار عملی برای کاهش واکنش (pH) خاک و افزایش مستمر (مداوم) غلظت اکسید دو کربن یا گاز کربنیک (CO₂) در خاک فرایندهای متراکم میکروبیولوژیکی از طریق تجزیه و تخریب مواد آلی می باشد که به صورت کود سبز به سطح خاک مزرعه افزوده گردیده و با عملیات خاک ورزی (شخم) با خاک لایه سطحی اختلاط داده شود. در این شرایط کاربرد مقادیر کمی گچ (ژیپس) و یا سایر مواد مولد اسید و انجام اقداماتی برای نگهداری آب باران در ایام بارندگی بر روی سطح اراضی مبتلا به می تواند فرایند "اصلاح طبیعی" این قبیل خاک ها را تسریع نماید

با توجه به موارد گفته شده ملاحظه می گردد که هرگونه نمک کلسیم، اسید و یا مواد مولد اسید را می توان در خصوص خاک های کلاس I به کار برد لیکن مصرف سنگ آهک در شرایط این خاک ها از نظر اصلاحی بدون اثر است.

کاربرد اسید و یا مواد مولد اسید در خاک های کلاس II و III می تواند موجب اسیدی شدن واکنش (pH) این قبیل خاک ها گردد. هر گاه مقادیر لازم اسید یا مواد مولد اسید برای اصلاح خاک ها به کار گرفته و موجب اسیدی شدن شدید واکنش (pH) خاک ها گردد در این شرایط انتخاب نوع ماده اصلاح کننده منحصر به نمک های محلول کلسیم می گردد مگر آنکه به همراه آن سنگ آهک نیز به کار برده شود.

پودر سنگ آهک (آسیاب شده) و یا نمک های کم محلول کلسیم تنها در مورد خاک های سدیمی فرسوده یا تخریب شده که میزان واکنش (pH) آن ها کم است می تواند کاربرد داشته باشد (Richards, 1954).

(Lal et al., 2003). به طوری که گفته شد حلالیت کربنات کلسیم در محلول خاک به مقدار واکنش (pH) نشان می‌دهد. محلول آن وابسته است جدول زیر روند این تغییرات را

جدول ۳- حلالیت کربنات کلسیم در ارتباط با واکنش (pH) محلول اشباع آن

واکنش (pH) محلول اشباع کربنات کلسیم	حلالیت کربنات کلسیم (میلی‌اکی‌والنت در لیتر)
۶/۲۱	۱۹/۳
۶/۵۰	۱۴/۴
۷/۱۲	۷/۱۰
۷/۸۵	۲/۷۰
۸/۶۰	۱/۱۰
۹/۲۰	۰/۸۲
۱۰/۱۲	۰/۳۶

ظاهری خاک بر حسب تن (متریک) در مترمکعب، D_z ضخامت لایه خاک که اصلاح آن مورد نظر است بر حسب متر، CEC ظرفیت تبادل کاتیونی خاک بر حسب میلی‌اکی‌والنت در یکصد گرم خاک، ESP_{in} و ESP_{fn} به ترتیب درصد سدیم تبدالی اولیه و نهائی (مورد نظر) می‌باشند.

به دلایل زیر در عمل به مقادیر بیشتری گچ نسبت به میزان محاسبه شده از طریق روابط بیان شده نیاز خواهد بود (Richards, 1954; Ritzema, 1994).

- عدم امکان کاربرد و پخش یکنواخت گچ در مزرعه،
- جایگزینی مقادیری از سولفات کلسیم به جای سایر کاتیون‌ها (غیر از سدیم)،
- آبشویی مقادیری از گچ کاربردی از لایه‌های سطحی و تراکم آن در لایه‌های زیرین، و

• تعیین مقدار مواد اصلاح کننده مورد نیاز
 کمیت مواد اصلاح کننده مورد نیاز برای خاک‌های مبتلا به مشکل سدیمی بودن، بستگی به میزان سدیم تبدالی خاک، عمق اصلاحی مورد نظر و راندمان (بازده) کاربرد مواد اصلاح کننده خاک و اراضی دارد. برای دستیابی به این مهم به طورمقدماتی لازم است که میزان گچ (ژپس) مورد نیاز اصلاح خاک را محاسبه نمود. برای تعیین یا محاسبه میزان گچ مورد نیاز^۲ (GR) برای جایگزینی با سدیم تبدالی و برای حصول به میزان سدیمی بودن مورد نظر (مطلوب) در واحد سطح اراضی (هکتار)، می‌توان از رابطه زیر استفاده نمود (بی‌نام، ۱۳۸۱ و Soil Survey Investigation for Irrigation, 1979).

$$GR = 8.6 \times D_z \times \frac{P_b}{z} \times CEC \left(\frac{ESP_{in} - ESP_{fn}}{100} \right) \quad (۸)$$

که در این رابطه: GR میزان گچ مورد نیاز بر حسب تن (متریک) در هکتار، P_b جرم مخصوص

^۱ Natural Reclamation

^۲ - Gypsum Requirement

آلومینیوم نیز از طریق آبکافت (هیدرولیز) موجب تشکیل اسید سولفوریک گردیده که در مرحله بعدی ضمن ترکیب با کربنات کلسیم تشکیل گچ را در خاک می‌دهد.

چگونگی کاربرد مواد اصلاح کننده مورد نیاز

براساس آزمون‌های مزرعه‌ای و متعاقب آن بررسی‌های آزمایشگاهی نشان داده شده است که اختلاط گچ با لایه‌ای از خاک که اصلاح آن مورد نظر می‌باشد در مقایسه با اختلاط آن با طبقات عمیق‌تر اثرات اصلاحی مطلوبتری را داشته است. همچنین بعضی گزارش‌ها نشان می‌دهد که افزایش عمق اختلاط گچ با خاک مزرعه راندمان کاربرد این ماده اصلاحی را به دلیل اثرات ترقیق کاهش می‌دهد. پژوهش‌های دیگری حاکی از آن است که برای آن قبیل از اراضی که سطوحی سله بسته به همراه مشکل نفوذپذیری دارند، اختلاط گچ با لایه سطحی خاک مناسب‌تر می‌باشند (van Art and Oosterkamp, 1968; Fisher, 2011).

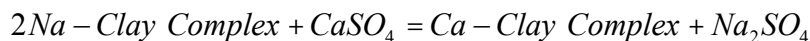
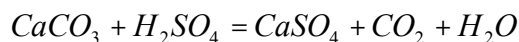
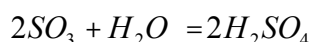
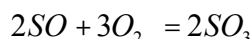
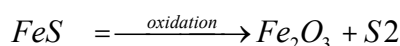
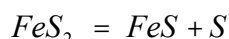
مواد اصلاح کننده‌ای نظیر پیریت و گوگرد که برای کامل شدن فرایند اصلاحی نیاز به فرایند اکسیداسیون به وسیله میکروارگانسیم‌های خاک را دارند به منظور حصول نتیجه مطلوبتر از کاربرد آن‌ها ضرورت دارد که اختلاط این مواد فقط با لایه سطحی خاک به انجام رسد. در سال‌های اخیر کاربرد پیریت در کشورهای آسیای جنوب شرقی برای اصلاح خاک‌های سدیمی آهکی مورد توجه قرار گرفته که مکانیسم شیمیایی آن بشرح زیر گزارش شده است (Lal et al., 2003).

- وجود مقادیری سدیم و کربنات سدیم آزاد در خاک که میزان آن در روابط گفته شده لحاظ نمی‌باشد.

همچنین لازم به ذکر است که آن میزان یون‌های کلسیمی که از سطح ذرات خاک، حین فرایند آبشویی و تبادل کاتیونی وارد عمل می‌گردند نیز در محاسبات گفته شده منظور نشده است. آزمایشگاه شوری خاک ایالات متحده ضریب افزایشی ۱/۲۵ را برای برآورد مقدار گچ مورد نیاز توصیه نموده است (Richards, 1954).

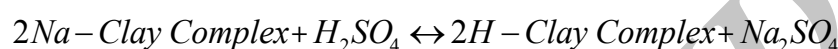
انتخاب نوع ماده اصلاح کننده مورد نیاز

انتخاب نوع ماده اصلاح کننده خاک‌ها به عواملی نظیر: زمان لازم برای واکنش در خاک، هزینه لازم برای تهیه مواد اصلاحی و ... بستگی دارد. کلرور کلسیم از نظر طول دوره زمانی سریع‌الاثربوده و یون کلسیم را برای جایگزینی با یون سدیم به سرعت تامین می‌نماید. لیکن به دلیل گرانی قیمت به طور معمول در برنامه‌های اصلاح خاک و اراضی در سطوح قابل ملاحظه از آن استفاده به عمل نمی‌آید. اسید سولفوریک (غلیظ) تجارتي بسیار سریع‌الاثرب و ارزان قیمت است لیکن در مورد کاربرد آن در سطح مزرعه بایستی تمهیدات و اقدامات احتیاطی خاصی به انجام رسد. گچ (ژیپس) ماده اصلاحی کند اثری می‌باشد. زیرا میزان حلالیت آن فقط ۰/۲۵ درصد در درجه حرارت‌های متعارف است (Lal et al., 2003). گوگرد (عنصری) نیز ماده بهساز کنداثری می‌باشد. زیرا بایستی از طریق فرایند اکسیداسیون به اسید سولفوریک تبدیل گردد که به زمان طولانی و شرایط خاصی از جمله مرطوب نگهداشتن سطح مزرعه نیاز دارد. سولفات‌های آهن و



یون سدیم در همتافت تبادلی (رس) خاک گردد که روند این تبادل به شرح زیر می‌تواند متصور باشد.

در خاک‌های سدیمی غیر آهکی اسید سولفوریک ممکن است به طور مستقیم جایگزین



خاک‌ها مستلزم هزینه و تخصص می‌باشد بنابراین در تعیین نوع و مقدار ماده اصلاح‌کننده مناسب باید قضاوت را بر پایه نتایج حاصل از آزمون‌های مزرعه‌ای و آزمایشگاهی بر روی نمونه‌های خاک برداشت شده متمرکز نموده و حتی پس از کاربرد ماده اصلاح‌کننده در خاک، انجام حداقل یک یا دو بار نمونه‌برداری طی سال برای برآورد میزان کاهش یا افزایش میزان سدیم تبادلی خاک (درصد سدیم تبادلی) و دیگر پارامترهای موردنظر ضرورت خواهد داشت (نمونه‌برداری فصلی نیز توصیه شده است). درمورد برداشت نمونه خاک باید سعی نمود که نمونه‌های برداشت شده معرف زمین‌های مبتلابه باشند زیرا سدیم اضافی موجب تغییر ویژگی خاک‌های موردنظر از محلی به محل دیگر می‌گردد و ضرورت دارد که در این مورد تعداد نمونه بیشتری از مزرعه تهیه شود و دامنه تغییرات عوامل موردنظر بر روی آن‌ها مورد مطالعه قرار گیرد زیرا در نهایت قضاوت در مورد گرایش به سدیمی شدن و یا سدیم‌زدایی خاک‌ها بر پایه ارقام واصله از آزمایشگاه خواهد بود.

پس از کاهش میزان درصد سدیم تبادلی در خاک شرایط فیزیکی آن‌ها بلافاصله بهبود نخواهد

در مورد کاربرد اسید سولفوریک (غلیظ) توصیه شده است که آن را به‌طور مستقیم بر روی سطح اراضی مورد نظر پاشش نمود که بدین ترتیب توزیع آن مناسب‌تر و تخریب خاکدانه‌ها کمتر خواهد بود. گوگرد عنصری را می‌توان به صورت مواد معلق (سوسپانسیون) در آب (آبشویی یا کاربردی) نیز به کار برد که بدین ترتیب محلول حاصله محتوی ۵۵-۶۰ درصد پودر گوگرد خواهد بود.

به‌عنوان یک هشدار سودمند توصیه گردیده است که قبل از اجرای برنامه‌های اصلاح خاک و اراضی در سطوح وسیع بهتر آن است که چگونگی فرایندهای اصلاحی خاک‌های مبتلا به شوری-سدیمی و سدیمی بودن به‌طور آزمایشی و در مقیاس کوچک آزمایشگاهی برای آگاهی از میزان تأثیر آن‌ها به مرحله اجرا درآید. نتایج بازیافتی از این قبیل بررسی‌ها را می‌توان در مزارع نمونه آزمایشی به‌منظور درک مطلوب‌تر مسئله نیز به کار برد (Slabbers, 1970).

نتیجه‌گیری

با توجه به مواردی که گفته شد، ملاحظه می‌گردد که انتخاب و کاربرد مواد اصلاح‌کننده

- CIGR. Handbook of Agricultural Engineering. 1999. Vol. 1, Land and Water Engineering, ASAE.
- Dewan, M.L. and Famuri, J. 1964. The Soil of Iran. FAO. Rome, Italy.
- Dregne, H.E. 1979. Soils of arid regions, development in soil science, 6. Elsevier. Scientific Pub. CO.
- Famuri, J. 1966. Effect of leaching and soil amendments on reclamation of saline-alkaline soils in Karkheh area. Soil Institute of Iran.
- Fisher, M. 2011. Amending soils with gypsum. Crops and Soils Magazine, USA.
- Ghassemi, F., Jakeman, A.J. and Nix. H.A. 1995. Salinization of land and water resources: human causes, extent, management and case studies. the Australian National University, Australia.
- Hanson, B., Grattan, S.R. and Fulton. A. 2006. Agricultural salinity and drainage. University of California, Davis (Revised). USA.
- Horneck, D.A. Ellsworth, J.W. Hopkin, D.M. and Stevens. R.G. 2007. Managing salt-affected soils for crop production, PNW.601.E
- Kovda, V.A. 1973. Draft report on prevention of soil salinity and land reclamation of saline soils in Iran. No. 227. Soil institute of Iran.
- Kovda, V.A. 1961. Proceeding of Tehran symposium on salinity problem of arid zones.
- Lal, P., Chippa, B.R. and Kumar, A. 2003. Salt-affected soils and crop production, Modern Synthesis, AGROBIS (India).
- Lees, G.M. and Falcon, N.L. 1952. The geographical history of the mesopotamian plains. Vol.118, No. 1. The Geographical Journal, UK.
- Mahday, A.M. 2011. Comparative effects of different soil chemical amendments on amelioration of saline –sodic soils. Soil and Water Research, 6 (4): 103-112.
- Pazira, E. 1999. Land reclamation research on soil physico-chemical improvement by salt leaching in south-western part of Iran, Innovation of Agricultural Engineering Technologies for The 21st Century, P.R. China.
- یافت. انجام این امر مستلزم گذشت زمان، خشک و مرطوب شدن متناوب خاک، چگونگی رشد و نمو گیاهان و سرانجام افزایش مواد آلی خاک است که از طریق تشکیل و بهبود ساختمان خاک ویژگی‌های فیزیکی آن تکامل و بهبود خواهد یافت استفاده از مواد اصلاح‌کننده خاک‌ها نه می‌تواند جایگزین خاک و آب آبیاری با کیفیت مطلوب گردیده و نه قادر است نقش اعمال مدیریت صحیح در بهره‌برداری از منابع خاک و آب را ایفاء نماید. بنابراین همان‌گونه که در قبل نیز متذکر گردید، اصلاح و بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها در گرو اعمال مدیریت بر عملیات آبیاری، افزودن کسر آبشویی نمک‌های محلول، تعمیق سطح ایستایی و بهبود شرایط طبیعی زهکشی خاک به همراه کاربرد مواد اصلاح‌کننده است.

منابع مورد استفاده

- بی‌نام. ۱۳۸۱. دستورالعمل آزمایش‌های آبشویی خاک‌های شور و سدیمی در ایران، شماره ۲۵۵، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، تهران، ایران.
- پذیرا، ا. ۱۳۹۱. حفاظت از منابع فیزیکی تولید در کشاورزی "خاک و آب". کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۱۵۰، تهران، ایران.
- پذیرا، ا. ۱۳۸۵. راهنمای کاربرد مدل‌های تجربی و نظری آبشویی نمک‌های خاک‌های شور، شماره ۳۵۹، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، تهران، ایران.
- Abrol, L.P., Yadav J.S.P. and Massaud, F.I. 1988. Salt-affected soils and their management, FAO, soils bulletin. No. 39. FAO, Rome, Italy.
- Ayers, R.S. and Westcat, D.W. 1985. Water quality for agriculture, Irrigation and Drainage Paper No. 29, Rev. 1. FAO, Rome, Italy.
- Bresler, E., McNeal, B.I. and Carter. D.L. 1982. Saline and sodic soils, principle, dynamics, modeling, Springer-Verlege. Berlin.

- Slabbers, P.J. 1970. Draft interim report on soil and water management in Iran. No. 228. Soil Institute of Iran.
- Soil Survey Investigation for Irrigation. 1979. FAO, soils bulletin, No. 42, FAO, Rome, Italy.
- Szabolcs, I. 1989. Salt-affected soils, Boca Raton, Florida, CRC Press.
- Tanji, K.K. (Editor). 1990. Agricultural salinity assessment and management. ASCE. No. 71.USA.
- van Aart, R. and Oasterkamp. J.L. 1968. Interim report on soil reclamation in Iran, No. 203. Soil Institute of Iran.
- Walwoth, J. 2006. Soil structure: the roles of sodium and salts. Publication 1414. University of Arizona Cooperative Extension. USA.
- Pazira, E. and Homaeae, M. 2003. Salt-affected resources in Iranian extension and reclamation. Proceeding of Agriculture and Saving Water for Sustainable Land and Water Resources Application, Yanglink, China.
- Reeve, R.C. 1957. The relation of salinity to irrigation and drainage requirements. Third Congress of International Commission on Irrigation and Drainage, Transactions 5:10.175-10.187.
- Richards, L.A. (Editor). 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils. U.S Department of Agriculture. Handbook, No. 60.
- Ritzema, H.P. (Editor In Chief). 1994. Drainage principles and application, ILRI Publication No. 16, 2nd ed. Wageningen, Netherlands

Archive of SID



Using different soil chemical amendments for reclamation of saline –sodic soils

Ebrahim Pazira

Professor of Soil Science Department, Science and Research branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran,
corresponding author email: ebrahim pazira@gmail.com

Received: 20-12-2011

Accepted: 23-04-2012

Abstract

Amelioration of saline–sodic soils by means of different amendments is a subject of interest for soil and water conservation in arid and semi-arid regions. The general concept of "precision agriculture" is in contrast with traditional research methodologies, which are based on trial and error in some fields of agricultural sciences, and are time-consuming, expensive and produce uncertain/unreliable results. For this reason, recently, most researchers suggest another method, namely, the so called "adaptive research", to overcome the mentioned weak points. The recent methodology has shown its advantages at national, local, and international levels and it only needs to be modified for specified environmental conditions. Most recently, a promising methodology is introduced as "integrated research plans", to clarify several questions in a single research project. But, at the same time, they do not ignore the other optimum conditions for such a finding. In research projects related to soil and water sciences, when plant is considered within the system, the study subject will be more complicated. In present article, it is pointed out that except some documented field experiments carried out for reclamation of salt-affected soils, the side effects of amendment applications such as ionic imbalances, plant nutrient availability, improvement of soil physical conditions (enhancing permeability and aggregate stability) did not taken into consideration. These impacts are acting due to their chemical influences on physical soil properties, but have not been adequately studied for salt- affected soils of the country.

Keywords: chemical amendments; saline-sodic soils; soil reclamation