19th Iranian Soil Science Congress
16-18 September, 2025
نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۲۵ تا ۲۷ شهریور ۱۴۰۴
مدیریت جامع‌نگر و هوشمند خاک و آب
Holistic and Smart Soil and Water Management
دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran
۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

مروری بر علل شور و سدیمی شدن خاک های کشور و راهکارهای مدیریتی جهت بهسازی

مهناز ختار[1*] و مهدی احمدیان

۱*- استادیار پژوهشی بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران. **Email: mah.khataar@gmail.com**

۲- پژوهشگر بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران. **Email: mahdi.ahmadian@gmail.com**

چکیده

شوری و سدیمی شدن خاک یکی از مهم‌ترین محدودیت‌ها و مشکلات مناطق خشک و نیمه‌خشک در بسیاری از نواحی جهان از جمله ایران است. تجمع نمک‌ها و افزایش سدیم تبادلی در این خاک ها باعث کاهش کیفیت فیزیکی و شیمیایی خاک شده و عملکرد گیاهان را تا حدود زیادی کاهش می‌دهد. این امر اثرات مخربی بر فعالیت‌های کشاورزی دارد و امنیت غذایی را به شدت به خطر می‌اندازد. این مقاله مروری به بررسی علل تشکیل، اثرات فیزیکوشیمیایی، روش‌های تشخیص و شاخص‌های اندازه‌گیری جهت طبقه‌بندی خاک‌های شوری و سدیمی می‌پردازد. همچنین راهکارهای مدیریتی و اصلاحی شامل روش‌های شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی، همچون آبشویی و زهکشی، تبدیل نمک‌ها و مدیریت‌های مربوط به اراضی، آبیاری و و زراعی را معرفی می‌کند.

واژگان کلیدی: اصلاح خاک، توزیع مجدد نمک، ساختمان خاک، سمیت یونی

مقدمه

خاک از عوامل اساسی و تاثیرگذار در تولید محصولات کشاورزی است که کیفیت و سلامت آن نقش کلیدی در عملکرد و بازدهی محصولات کشاورزی ایفا می‌کند. در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک، خاک‌های شور و سدیمی یکی از چالش‌های عمده کشاورزی به شمار می‌آیند. این خاک‌ها با تجمع نمک‌های محلول در خاک های شور و یا افزایش درصد سدیم تبادلی نسبت به کاتیون‌های دو ظرفیتی در خاک‌های سدیمی باعث سمیت یونی و بعضا تغییر در ساختار فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک شده و شرایط دشواری برای رشد گیاهان ایجاد می‌کنند (ختار و همکاران، ۱۳۹۱). علل اصلی پیدایش این خاک‌ها عدم توجه به کیفیت منابع آب، زهکشی ناکافی، تبخیر بالا و بارندگی کم است، که منجر به تجمع نمک‌ها در لایه‌های سطحی و زیرسطحی خاک می‌شود. این پدیده باعث کاهش پتانسیل آب خاک و متعاقبا کاهش جذب آب و عناصر غذایی توسط گیاه می‌شود. در خاک‌های سدیمی، محدودیت‌های شدیدتری در قابلیت تولید خاک به دلیل تخریب ساختمان خاک و منافذ درشت ایجاد شده، قابلیت نفوذ آب و هوا کاهش یافته و از سوی دیگر مقاومت مکانیکی خاک به مقدار زیادی افزایش می‌یابد (ختار و محمدی، ۱۳۹۸). در این شرایط نه تنها گیاه تحت سمیت یون سدیم قرار گرفته و به دلیل پایین بودن آب قابل دسترس، دچار خشکی فیزیولوژیکی می‌شود، بلکه به دلیل ساختار نامناسب و مقاومت مکانیکی بالا، ریشه‌دوانی محدود شده و کاهش جذب آب تصاعدی می‌شود (ختار و همکاران، ۲۰۱۸). لذا توجه به اهمیت بالای حفظ سلامت خاک و نیاز به افزایش بهره‌وری کشاورزی در شرایط محدودیت منابع، شناسایی دقیق ویژگی‌های

خاک‌های شور و سدیمی و اتخاذ شیوه‌های مناسب مدیریتی در این خاک‌ها ضروری است. این مطالعه مروری با هدف بررسی جامع علل، اثرات و روش‌های اصلاح خاک های شور و سدیمی صورت گرفته است تا راهنمای علمی و کاربردی برای پژوهشگران و کشاورزان فراهم آورد.

تعریف و علل تشکیل خاک شور و سدیمی

شوری خاک عبارت است از، حضور بیش از اندازه نمک‌های قابل انحلال و عناصر معدنی در محلول خاک که منجر به تجمع نمک در ناحیه ریشه شده و گیاه برای جذب آب کافی از محلول خاک با مشکل روبرو می‌شود. از این تعریف به خوبی استنباط می‌گردد که شوری مفهومی وابسته به گیاه دارد. برخی از محصولات کشاورزی و گونه‌های گیاهی در مقایسه با سایر محصولات دارای حساسیت بیشتری نسبت به نمک خاک می‌باشند، بنابراین تعیین آستانه‌ای از میزان نمک، به منظور جداسازی خاک‌های شور از غیر شور ساده نیست. لذا در دنیای کشاورزی، شوری در سیستم‌های مرکب از خاک، آب و گیاه تعریف می‌شود (محمدی و ختار، ۲۰۱۷). این خاک‌ها نسبت جذب سدیمی (SAR) کمتر از ۱۳ داشته و وجود نمک‌های محلول مانند کلریدها، سولفات‌ها، کلسیم، منیزیم و سدیم در آن‌ها زیاد است. زمانی که میزان یون سدیم نسبت به سایر یون‌ها به ویژه یون‌های دو ظرفیتی افزایش یابد SAR بالا رفته و باعث تورم، کاهش نفوذپذیری و تهویه و ساختمان ضعیف خاک‌های سدیمی می‌شود. خاک‌های شور سدیمی ترکیبی از این دو حالت هستند که هم شوری بالایی دارند و هم درصد سدیم تبادلی آن ها زیاد است (ختار و همکاران، ۲۰۱۸).

تقسیم بندی علل پیدایش خاک‌های شور و سدیمی

شوری اولیه: چنانچه شوری خاک مربوط به نوع سنگ مادری و ماده اولیه تشکیل دهنده خاک باشد آن را شوری اولیه گویند. شوری زمین هایی که قبلا بستر و کف دریاچه یا دریا بوده‌اند نیز از نوع شوری باقیمانده هستند.

شوری ثانویه: در اراضی کشاورزی، شوری خاک عموما به دلیل تجمع تدریجی نمک در لایه سطحی است. به این ترتیب که نمک‌هایی که قبلا از لایه سطحی خاک شسته و خارج شده‌اند دوباره به لایه سطحی، باز می‌گردند. لذا این نوع شوری را از نوع ثانویه گویند. استفاده از آب با مقادیر بالای نمک برای آبیاری، به ویژه در مناطق دارای آب‌های زیرزمینی شور و بالا بودن سطح آب زیرزمینی، مهم‌ترین عامل ایجاد شوری ثانویه خاک است. در مناطق خشک و نیمه‌خشک، تبخیر سریع آب از سطح خاک باعث بالا آمدن محلول‌های نمکی به سطح خاک شده و تجمع نمک را افزایش می‌دهد. در این شرایط عدم وجود زهکشی مناسب موجب می‌شود با انباشت آب‌های سطحی و زیرسطحی، نمک‌ها در خاک باقی بمانند و شوری افزایش یابد. مدیریت نامناسب پوشش گیاهی، و حذف گیاهان با ریشه عمیق و جایگزینی آن‌ها با گیاهان با ریشه کم عمق، عامل دیگر افزایش تجمع نمک روی سطح خاک است. از دیگر علل پیدایش و تشدید شوری خاک، استفاده غیراصولی از کودهای شیمیایی با شاخص نمک بالا، و پساب‌های تصفیه شده نامناسب و لجن حاصل از تصفیه فاضلاب است که به شوری خاک دامن می‌زنند (قادری و همکاران، ۲۰۱۴، سعادت و همکاران، ۱۴۰۲).

باید توجه داشت که اگرچه خاک‌های شور اغلب در مناطق خشک و نیمه‌خشک بوجود می‌آیند اما تمام خاک‌های این مناطق شور نیستند. علاوه بر این به دلیل مدیریت نامناسب، خاک های شور ممکن است در مناطق نیمه مرطوب نیز

مشاهده شوند. این نکته می‌تواند اهمیت بالا و نقش حیاتی مدیریت اراضی را نشان دهد (حیدری نیا و همکاران، ۱۳۹۵). این امر به ویژه با توجه به تغییر اقلیم و شرایط کنونی که بارش‌ها خیلی ناچیز می باشد بسیار حایز اهمیت است، زیرا فشار اسمزی بالا، جذب آب توسط گیاهان را دشوار می‌کند و باعث بروز تنش خشکی می‌شود، به گونه‌ای که گیاه حتی در حضور رطوبت خاک، قادر به برداشت آب نیست. این محدودیت‌ها در خاک‌های سدیمی دو چندان است. زیرا ویژگی‌های فیزیکی خاک نیز نامناسب بوده و با عواملی مانند انقباض و انبساط خاک (که منجر به کاهش جوانه‌زنی و پاره شدن سیستم ریشه-ای می شود)، پایداری کم خاک دانه‌ها، تخریب ساختمان فیزیکی خاک و از هم گسیختگی ذرات خاک (به ویژه در خاک-های ریز بافت که دارای رس‌های منبسط شونده هستند)، مهاجرت رس‌ها به لایه‌های زیرین، افزایش تراکم خاک (کاهش شدید فراوانی منافذ درشت که نقش اصلی در نفوذ آب و هوا در خاک را ایفا می‌کنند)، تغییر توزیع اندازه منافذ، اعوجاج و عدم پیوستگی آن‌ها، کاهش عمق خاک سطحی و ایجاد خاک مطبق، رو برو هستیم (ختار و همکاران، ۲۰۱۲، ختار و همکاران، ۲۰۱۸، سعادت و همکاران، ۱۴۰۲).

راهکارهای مدیریتی و اصلاح خاک‌های شور و سدیمی

اصلاح خاک‌های شور و سدیمی از مهم‌ترین اقدامات برای بهبود کیفیت خاک و افزایش تولید کشاورزی به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. این اصلاحات شامل روش‌های شیمیایی، فیزیکی، بیولوژیکی و بهینه‌سازی مدیریت آب می‌باشد.

معمولا برای جلوگیری از اثرات زیان‌آور خاک‌های شور و سدیمی، از سه روش استفاده می‌شود: روش اول از میان بردن این نمک‌ها از طریق شستشو و زهکشی است، در روش دوم، تبدیل نمک‌های مضر به نمک‌های کم‌ضررتر انجام می‌شود و روش سوم، شامل کنترل و مدیریت املاح است. در دو روش اول، هدف دفع نمک‌ها و یا تغییر و تبدیل آن‌ها است، در حالی‌که در روش سوم، نحوه اداره خاک و عملیات کشاورزی را طوری تنظیم می‌کنند که نمک بطور یکنواخت در تمام خاک پخش شده، از تمرکز غلظت زیاد نمک در یک نقطه جلوگیری شود (سعادت و صدقی، ۱۴۰۳، محمودی نژاد و همکاران، ۱۴۰۳، صادق زاده و همکاران، ۲۰۱۸).

۱-آبشویی:

در این روش، خاک با آب کم‌شور یا آب شیرین آبیاری می‌شود تا نمک‌های تجمع یافته در لایه‌های سطحی به لایه‌های عمیق‌تر منتقل یا از محیط خاک خارج شوند. برای موفقیت این روش باید زهکشی مناسب وجود داشته باشد تا آب شور و نمک‌های برداشته شده از خاک خارج شوند. در غیر این صورت نمک پس از مدتی مجدداً به سطح باز می‌گردد. نکته‌ای که باید در نظر گرفته شود انجام آبشویی در فصول سرد سال است، زیرا اگر چه در فصول گرم سال، حلالیت نمک‌ها بیشتر است اما منابع آبی در فصول سرد بیشتر در دسترس است و تبخیر سطحی که موجب بازگشت نمک از افق‌های زیرین به سطح خاک می‌شود نیز کمتر صورت می‌گیرد. همچنین در این فصول، زمین معمولاً خالی از گیاه است. در اکثر حالات، اصلاح چنین خاک‌هایی از طریق آبشویی، مشروط به احداث سیستم زهکشی، عملی و میسر است. در طی مراحل آبشویی باید دقت زیادی در جلوگیری از تخریب ساختمان خاک به عمل آورد (دلالیان و همکاران، ۱۴۰۱). به طور معمول در طی دوره آبشویی، می‌توان نسبت به کشت نباتاتی از قبیل یونجه یا شبدر به عنوان کود سبز نیز اقدام نمود. برای آبشویی املاح

و اصلاح خاک‌های شور، بهتر است که ابتدا املاح موجود در عمقی متعارف از نیمرخ خاک به حدی کاهش داده شود که امکان رشد و نمو گیاهان مقاوم به شوری در آن فراهم گردد. سپس ادامه عملیات آبشویی را تا زمانی که شوری خاک به حد مطلوب از نظر رشد گیاه مورد نظر با توجه به صرفه اقتصادی برسد، همزمان با آبیاری و یا حتی کاربرد مقادیری آب اضافی در آبیاری مزرعه، به انجام رسانید. روش‌های کرتی و نشتی و یا روش‌های بارانی و قطره‌ای بستگی به میزان آب، کیفیت آب و شدت شوری و سدیمی بودن خاک دارد (هنرجو و همکاران، ۱۳۹۸). میزان آب آبشویی در خاک‌های شور بستگی به عمق خاک و درصد کاهش شوری دارد. برای مثال درصورتی که عمق خاک ده سانتی متر باشد و بخواهیم: ۵۰ درصد شوری شستشو شود عمق آب آبیاری مورد نیاز ۵ سانتی متر، برای آبشوئی ۸۰ درصد شوری، عمق آب آبیاری مورد نیاز ۱۰ سانتی متر و برای آبشوئی ۹۰ درصد شوری، عمق آب آبیاری مورد نیاز ۲۰ سانتی متر است (دهقانی سانیج و همکاران، ۲۰۱۸، هاشمی نژاد، ۱۴۰۱). شستشوی خاک‌های شور و سدیمی باید با دقت بیشتری انجام شود، در غیر اینصورت شستشو می-تواند این خاک‌ها را تبدیل به خاک سدیمی کند و شرایط ساختمانی هم تخریب شود. شستشوی خاک‌های سدیمی بدون بهبود ساختمان خاک و استفاده از مواد اصلاحی امکان پذیر نیست. بنابراین اصلاح خاک‌های سدیمی نسبت به خاک‌های شور، مشکل‌تر است. برای اصلاح خاک‌های سدیمی سه مرحله باید با هم، انجام شود تا این خاک ها از نظر کشاورزی قابل بهره‌برداری شوند ۱- سدیم تبادلی توسط کلسیم جایگزین شود. ۲- نفوذپذیری خاک افزایش یابد. ۳- نمک‌های سدیم از محلول خاک شسته شوند. اراضی شور و ماندابی را نمی‌توان با زهکشی سطحی، اصلاح کرد. هر چند احداث زهکش‌های سطحی در این اراضی یکی از اقدامات پیشگیرانه به شمار می‌رود ولی راه حل اساسی برای احیاء این اراضی استفاده از روش‌های زهکشی زیر سطحی است. از آثار مفید استخراج آب‌های زیرزمینی توسط چاه، پایین نگه داشتن سطح ایستابی و عدم ایجاد وضعیت ماندابی در اراضی تحت آبیاری است. در این شرایط وجود زهکش‌های سطحی فقط باعث می‌شود که از بار وارده بر زهکش‌های زیرسطحی کاسته شده و بتوان سامانه ارزانتری را احداث نمود (برزگر و همکاران، ۱۳۸۶، یزدان پناه و همکاران، ۱۳۹۱، شریفی و همکاران، ۱۳۹۶).

سامانه زهکشی سطحی برای مناطق مرطوب بیشترین کاربرد را دارد زیرا بارندگی در چنین شرایطی در سطح زمین تجمع پیدا می‌کند، این سیستم بصورت کانال‌های عریض و کم عمق(شبکه نهرهای قابل گذر) بکار می‌رود به‌طوری که ماشین آلات هم می‌توانند به‌راحتی از روی آن حرکت کنند. سیستم زهکشی زیرزمینی بصورت کانال روباز عمیق تا عمق حدود ۲ متر و یا لوله گذاری زیرزمینی است. زهکشی زیر زمینی بصورت عمودی نیز می تواند باشد (حفر چاه). لوله‌های زهکش زیر زمینی بصورت قطعه قطعه می‌باشند. زهکش مصنوعی ممکن است به صورت کانال های عمیق و کم عرضی باشد که آن ها را با زاویه کمی نسبت به خطوط تراز و در فواصل معینی از یکدیگر به وجود می‌آورند. لوله ها می‌توانند از جنس سفالی منقطع و یا لوله های پولیکا باشند که دارای سوراخ های کوچکی در پایین لوله هستند. شایان ذکر است برای اینکه خاک وارد لوله نگردد و سوراخ ها گرفته نشوند، در اطراف لوله، لایه‌ای از شن درشت قرار می دهند.

۲-تبدیل نمک های مضر به نمک های کم‌ضررتر

اصلاح خاک‌های شور و سدیمی، موقعی موثر است که آب بکار رفته دارای نمک زیاد، و سدیم کم باشد، زیرا استفاده از آب-های کم‌نمک، ممکن است به‌علت دفع نمک‌های خنثی، شرایط سدیمی را حادتر نماید. خروج نمک‌های خنثی، درصد سدیم قابل تعویض را در خاک بیشتر کرده، در نتیجه باعث افزایش غلظت یون هیدروکسیل OH در محلول خاک می‌شود. این پدیده نامطلوب را می‌توان با تبدیل کربنات و بی‌کربنات سدیم به سولفات سدیم دفع کرد. راهکار دیگر اضافه کردن سولفات کلسیم یا گچ به خاک قبل از شستشو است. برای این کار معمولا چندین تن در هکتار گچ لازم است که محاسبات لازم جهت تعیین میزان ماده اصلاحی بستگی به شدت سدیمی بودن خاک (SAR اولیه) برای رسیدن به حد استانداردی از سدیم (SAR ثانویه) باید انجام شود. برای تسریع واکنش‌ها می‌بایست خاک به حالت مرطوب نگهداری شود (رابطه ۱ و ۲).

رابطه ۱ $$Na + CaSO_4 \longleftrightarrow Ca + Na_2SO_4$$

رابطه ۲ $$Na_2CO_3 + CaSO_4 \longleftrightarrow CaCO_3 + Na_2SO_4$$

اضافه نمودن گوگرد نیز سبب اصلاح این خاک می‌شود. گوگرد پس از اکسیده شدن، تبدیل به اسید سولفوریک شده، این اسید نه تنها نمک‌های کربنات را به سولفات تبدیل می‌کند، بلکه با کاهش pH از شدت سدیمی شدن خاک می‌کاهد (قدیر و همکاران، ۲۰۱۴).

تبدیل نمک‌ها در خاک موجب اصلاح شوری خاک، بهبود وضعیت تهویه در خاک‌های سنگین و کاهش میزان pH خاک و آب می شود. pH محلول خاک در ریزوسفر کمتر از ۵ الی ۵/۵ است. منظور از ریزوسفر محدوده خاکی اطراف ریشه گیاه است که به هر طریقی متاثر از فعالیت ریشه بوده و جمعیت میکروارگانیسم ها در این محدوده بیشتراز نقاط با فاصله زیادتر از ریشه می‌باشد. دلیل اسیدی بودن واکنش یا pH خاک اطراف ریشه گیاه، تولید گاز دی‌اکسیدکربن در اثر تنفس ریشه می‌باشد. گاز دی‌اکسیدکربن تولیدی با آب اطراف محیط ریشه واکنش داده و تولید اسید ضعیفی به نام اسیدکربنیک می‌کند. علاوه بر اثر اسیدکربنیک تولید شده درکاهش واکنش ریزوسفر، تعداد زیادی اسیدهای آلی از ریشه به محلول خاک اطراف ریشه ترشح می‌شوند. بنابراین با روش تبدیل نمک، pH اطراف ریشه تعدیل شده و به سمت بهینه هدایت می‌شود (خادمی و همکاران، ۱۳۹۷).

۳-روش اعمال مدیریت زراعی و کنترل املاح در خاک

الف- کاهش تبخیر: کاهش پدیده مویینگی و میزان تبخیر از سطح خاک مهمترین نقش را در این زمینه دارد. زیرا از انتقال نمک از لایه‌های تحتانی خاک به منطقه رشد ریشه و توزیع مجدد نمک جلوگیری می‌شود. جلوگیری از بکار بردن آب زیاده از حد در آبیاری مگر جهت شستشو، آبیاری در صبح زود و یا بعد غروب آفتاب و استفاده از مالچ پاشی و کاه و کلش در این زمینه موثر است (رضایی، ۱۴۰۴، ختار و محمدی، ۲۰۱۹).

ب- مدیریت آبیاری مناسب و افزایش راندمان آبیاری: درصورت امکان، منبع آب آبیاری تغییر و حفظ رطوبت در دامنه مناسب انجام شود، تا جذب آب و عناصر غذایی به بیشترین مقدار برسد و اثرات تنش اسمزی تا حدودی کاهش یابد (در مکش ماتریک ۸ الی ۱۰ کیلو پاسکال، تنش تهویه و شوری کمترین مقدار است). در نتیجه در عین داشتن عملکرد مناسب می توان به بهینه‌ترین میزان کارایی مصرف آب دست یافت. تحقیقات نشان داده است که تواتر آبیاری با آب‌هایی با

کیفیت متفاوت نقش موثری در این زمینه ایفا می‌کند. مثلا آبیاری به صورت یک در میان و متناوب (یک نوبت تیمار با آب معمولی و بار بعد با آب شور)، تواتر در یک آبیاری (ابتدا آبیاری با آب شور و در ادامه با آب مناسب و یا مخلوط کردن دو آب با کیفیت متفاوت) اجتناب از آبیاری‌های سطحی(غرقابی، قطره‌ای سطحی و بارانی) که سطح خاک را نزدیک اشباع نگاه می‌دارد و حجم وسیعی از آب را صرف تبخیر می‌کند. همچنین انتخاب سیستم آبیاری متناسب با اقلیم و امکانات موجود و طراحی صحیح سامانه‌های آبیاری با شیب و یکنواختی آبدهی مناسب و پوشش کانال‌های آبیاری هم توصیه می‌شود. باید توجه داشت که در شوری‌های اولیه کم، تغییرات توزیع شوری و رطوبت با گذشت زمان بسیار کم است در حالی که با افزایش شوری آب آبیاری، این تفاوت‌ها به ویژه با افزایش درصد رس خاک، بسیار چشمگیرتر می‌شود (دهقانی سانیج و همکاران، ۱۳۹۷،هاشمی نژاد، ۱۳۹۰، مختاران و همکاران، ۱۴۰۰).

ج- مدیریت کشت: تنظیم زمان آبیاری بسته به حساسیت گیاه در دوره‌های مختلف رشد، عامل مناسبی برای کنترل شرایط است. به‌علت حساس بودن شدید جوانه‌های برخی گیاهان به نمک، آبیاری قبل و بعد از کاشت، امری لازم محسوب می‌شود. برای مثال چغندر قند در مرحله جوانه‌زنی حساسیت بیشتری به شوری دارد، حال آن که برنج، جو، گندم، ذرت، سورگوم و لوبیا چشم بلبلی در طول مرحله رشد اولیه نشاء، حساسیت بیشتری دارند. در کف شیار یا داغاب، رطوبت خاک بیشتر حفظ شده و می‌تواند به‌سهولت در اختیار گیاه قرار گیرد، در عین حال به دلیل رطوبت بالاتر در این مناطق، میزان شوری خاک نیز نسبتاً کمتر از سایر قسمت‌ها است، لذا کاشت بوته‌ها بایستی در این قسمت‌ها انجام شود. به علاوه مدیریت زمان کشت، باید طوری انتخاب شود، تا قبل از شروع گرمای شدید سال، دوره رشد به اتمام رسد. تراکم کشت به جهت کم کردن سطح تبخیر، نگه‌داشت بقایای کشت قبلی در سطح خاک، جمع‌آوری گیاهان وجین شده و علف‌های هرز و قرار دادن آن‌ها بین ردیف‌های کشت (در باغات میوه)، کاشت گیاهان علوفه‌ای مانند شبدر و جو و برگرداندن آن‌ها به‌صورت کامل به خاک به‌عنوان کود سبز، مخلوط کردن کودهای دامی پوسیده با خاک، کشت نشایی و عدم انجام آیش، از مواردی است که نباید از آن ها غافل شد. کنترل بیماری‌های گیاهی، حشرات و دیگر آفت‌ها (گیاه سالم، مقاومت بیشتری نسبت به تحمل شوری دارد)، کنترل علف‌های هرز که در جذب آب و مواد غذایی با گیاهان زراعی در رقابت هستند، تناوب و تنوع زراعی (زیرا در این صورت نیاز غذایی، عمق ریشه و میزبانی آفات و بیماری‌ها و علف‌های هرز، متفاوت خواهد بود لذا مدیریت ساده‌تر شده و مقاومت گیاه به شوری افزایش می‌یابد)، کاشت گیاهان با ریشه عمیق، کشت گیاهان زراعی نسبت به گیاهان چند ساله و باغی، کشت گیاهان مقاوم به شوری مانند چغندر قند، پنبه، ذرت خوشه‌ای، جو، شبدر، یونجه، کشت گیاهان اصلاح کننده شوری مانند وتیور، آتریپلکس، گراس، اسپرس، فستوکا، سیاه شور، جو، دم روباهی، آلروپوس، گلرنگ از دیگر اقدامات است. توسعه واریته‌های گیاهان متحمل به شوری از طریق اصلاح نباتات، انتخاب، پیوند زدن و مقاوم‌سازی گیاهان به شوری به یکی از سه روش: ۱ – توانائی یک گیاه برای اینکه درخاک‌های شور زنده بماند ۲ – رشد مطلق گیاه ۳ – رشد نسبی در خاک‌های شور در مقایسه با گیاهانی که در خاک‌های غیر شور رشد می‌کنند، جزء مهمترین راه‌های مدیریت کشت تحت شرایط شور هستند.

د- مدیریت اراضی: در این زمینه می‌توان به تسطیح زمین، بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، سبک کردن بافت، آبیاری سنگین در روزهای بسیار گرم و رها کردن زمین تا خشک شدن کامل و سپس لایه‌برداری از سطح خاک (زیرا به دلیل توزیع مجدد، درصد زیادی از نمک‌های عمقی به سطح خاک منتقل می‌شوند)، شخم و شیار و تخریب سله خاک به منظور جلوگیری از تبخیر شدید و در نتیجه تجمع نمک‌ها در سطح خاک، عدم آتش‌سوزی بقایای گیاهی، افزایش جذب آب باران و جانداران خاکزی اشاره کرد (سعادت و همکاران، ۱۴۰۲؛ حیدری‌نیا و همکاران، ۲۰۱۶؛ رضایی، ۱۴۰۴).

ه- اضافه کردن مواد آلی به خاک: با استفاده از کودهای آلی همچون کود دامی پوسیده، تبخیر و زهکشی متعادل شده و مقدار آب سهل‌الوصول برای گیاه افزایش می‌یابد، لذا محصول تا حدود زیادی از تنش‌های محیطی محافظت می‌شود. افزایش ماده آلی در خاک باعث افزایش خاک‌دانه‌سازی و بهبود منافذ درشت خاک می‌شود و کاهش تبخیر را به همراه دارد، در نتیجه اثر ماده آلی در مکش‌های ماتریک پایین، بیشتر است. بار مواد آلی پوسیده در خاک معمولاً منفی است و مقدار قابل‌ملاحظه‌ای از نمک‌های با بار الکتریکی مثبت محلول در خاک را مانند اسفنج به خود جذب می‌کنند. همچنین این مواد، خاصیت بافری دارند که به متعادل کردن pH خاک کمک می‌کند. به علاوه با کاهش چگالی ظاهری، باعث توسعه و رشد بیشتر ریشه گیاهان در خاک خواهد می شود. پرواضح است یک ریشه‌ی توسعه‌یافته و حجیم در افق‌های مختلف خاک، بهتر در مقابل تنش شوری مقاومت خواهد کرد (محمودی نژاد و همکاران، ۱۴۰۳، دلالیان و همکاران، ۲۰۲۲).

ی- ترکیبات و کودهای اصلاحی: استفاده از اسید هیومیک و فولویک، کودهای بیولوژیکی و ریزموجوداتی همچون استرپتومایسیس، مایکوریزا، ازتوباکتر و باسیلوس‌ها، محرک‌ها و هورمون های رشد، مدیریت تغذیه مناسب جهت جلوگیری از کمبود مواد غذایی و حفظ انرژی گیاه، اعمال عناصر غذایی ویژه نظیر پتاسیم، کلسیم و عناصر کم مصرف که مقاومت گیاهان به شوری را افزایش می‌دهند، اصلاح کننده‌های طبیعی مثل پوست گردو و بادام و فندق، استفاده از کودهایی با ضریب شوری پایین و واکنش شیمیایی اسیدی (تنظیم pH و اسیدی کردن محیط برای شستشو، افزایش حلالیت مواد مغذی تثبیت شده در خاک و افزایش کارایی کودها)، روش کوددهی مناسب مانند جای‌گذاری نواری به جای پخش سطحی، کود آبیاری، تقسیط کود، استفاده از کودهایی با درصد خلوص بالا و کودهایی که اثرات سمی عناصری همچون سدیم را کاهش دهد، موجب تعدیل تنش شوری و افزایش تاب آوری گیاه می شوند (ال سماری و همکاران، ۲۰۲۰، عباسی و همکاران، ۲۰۱۶، خالد و فی، ۲۰۱۱).

نتیجه‌گیری

در نگاهی کلی به موضوع گسترش شوری خاک‌های کشاورزی در ایران و اهمیت آن و همچنین هزینه‌بر بودن اصلاح ساختمان در خاک‌هایی با درصد شوری بالا (که نیازمند مخلوط کردن حجم زیادی گچ به خاک است) و نیز تغییر شیوه‌ی آبیاری مرسوم، که از عهده‌ی کشاورزانی با درآمد اندک خارج است، توجه خاص مسئولین امر به تخصیص تسهیلات سهل‌الوصول برای انجام این‌گونه پروژه‌ها به کشاورزان را می‌طلبد، به صورتی که دارای معافیت ابتدایی پرداخت و سود پایین باشد تا موجب ترغیب هرچه بیشتر کشاورزان به انجام این موارد شود. در بحث انتخاب و معرفی گونه‌های مقاوم به شوری و به‌تبع آن ایجاد یک الگوی کشت چندساله مناسب با خاک‌های شور و نیمه‌شور، نیاز به برنامه‌های ترویجی بیشتری

از سوی جهاد کشاورزی در روستاها و معرفی و تشویق هر چه بیشتر کشاورزان به استفاده از بذرهای جدید و مقاوم داریم. تغییر الگوی کشت باید در اولویت برنامه‌های ترویجی قرار گیرد. رواضح است که معرفی گونه‌های جدید اصلاح‌شده و مقاوم در برابر شوری در اکثر نقاط جهان توسط پشتیبانی و تسهیلات دولتی به انجام رسیده و یا پشتیبانی مالی می‌گردد و نیاز به تعامل سازنده با کشورهایی که به این گونه‌های جدید دست پیدا کرده‌اند، احساس می‌شود. شایان ذکر است استفاده از هرکدام از روش‌های ذکرشده یا تلفیقی از روش‌های فوق با توجه به میزان شوری خاک، بافت و ساختمان خاک، گیاهان بومی منطقه، منابع آبی در دسترس، اقلیم منطقه و به‌ویژه منابع مالی موجود باید مد نظر قرار گیرد که نیاز به بررسی‌های دقیق کارشناسی دارد. مدیریت آبیاری و برنامه‌ریزی دقیق زمان آبیاری باید بر اساس روابط بین عملکرد، کارایی مصرف آب، تبخیر و تعرق فصلی و اطلاعاتی درباره کمبود آب خاک و آستانه تحمل در مراحل مختلف رشد گیاه، تنظیم شود.

منابع

برزگر ع.، امیریان، ع.ر.، ناصری، ع.ع. (۱۳۸۶). بررسی علل عدم آبشویی املاح در برخی قسمت‌های مزارع نیشکر جنوب اهواز.

حیدری نیا، م.، ناصری، ع.ع. ،برومند نسب. (۱۳۹۵). تأثیر مدیریت بقایای گندم و آبیاری با آب‌شور بر عملکرد ذرت بهاره و تغییرات شوری نیمرخ خاک .پژوهش آب در کشاورزی، ۳۰(۳)، ۲۸۵-۲۹۹.

خادمی، ز.، ملکوتی، م.ج.، جونز ،د. (۱۳۹۷). اثر اسیدهای آلی ریشه در قابلیت جذب عناصر غذایی در ریزوسفر .پژوهش-های خاک، ۲۱(۲)، ۱۷۱-۱۸۹.

ختار، م.، مصدقی، م.ر.، محبوبی،ع.ا. (۱۳۹۱). اثر کیفیت آب آبیاری بر مقدار آب قابل استفاده برای گیاه و توزیع اندازه منافذ دو خاک آهکی با بافت متفاوت .علوم آب و خاک، ۱۶(۶۰، ۱۵۹-۱۷۳.

ختار، م.، محمدی، م.ح. (۱۳۹۸). اثر هم‌زمان شوری و مکش ماتریک خاک بر میزان تبخیر و توزیع مجدد رطوبت و شوری در دو خاک با بافت متفاوت .تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۰(۱)، ۸۹-۹۸.

دلالیان، م.ر.، ذبیحی، ف.، سرباز رشید، س. (۱۴۰۱). بررسی آزمایشگاهی تأثیر اصلاح گرهای آلی بر فرایند آبشویی خاک های شور و سدیمی. حفاظت منابع آب و خاک، ۱۱(۲)، ۱۳-۳۱.

دهقانی سانیج، ح. ، حاجی آقابزرگی، ح.ر.، قائمی، ع.ا. (۱۳۹۷). تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری بر توزیع شوری در خاک تحت سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی .مدیریت آب و آبیاری، ۸(۱)، ۱۵-۲۵.

رضائی. ح. (۱۴۰۴). مروری بر اثرات تغییر اقلیم بر حوزه‌های آبخیز و راهکارهای سازگاری با آن .مدیریت جامع حوزه های آبخیز، ۵(۱)، ۳۷-۵۸.

سعادت، س.، اسماعیل‌نژاد، ل.، رضایی، ح.، میرخانی، ر. (۱۴۰۲). مروری بر وضعیت شوری خاک در اراضی دیم ایران. مدیریت اراضی، ۱۱(۲)، ۱۴۷-۱۶۰.

شریفی پور، م.، ناصری، ع.ع.، هوشمند، ع.ر.، حسن اقلی، ع.ر.، معاضد ،ه. (۱۳۹۶). آبشویی و اصلاح اراضی شور و سدیمی، بخش اول: مفاهیم نظری و روابط حاکم بر آبشویی نمک ها از نیمرخ خاک .مدیریت آب در کشاورزی، ۴(۱)، ۳۹-۴۸.

محمودی نژاد, ف.، شکفته, ح.، شفیعی, س.، زمانی باب‌گهری, ج.، عباس‌زاده افشار, ف.، جلالی ,ق. (۱۴۰۳). بررسی آزمایشگاهی تأثیر برخی اصلاح‌کننده‌های آلی به‌عنوان یک استراتژی برای اصلاح یک خاک شور و سدیمی .مجله پژوهش‌های فرسایش محیطی، ۱۴(۱) ۱۵۸-۱۷۷.

مختاران,ع.، ورجاوند, پ., دهقانی سانیج, ح.، آبسالان, ش.، عزیزی، ا.، جعفرنژادی، ع.ر. (۱۴۰۰). مقایسه روش قطره‌ای نواری با آبیاری سطحی و پایش شوری خاک در کشت گندم و ذرت آبیاری شده با آب لب شور .پژوهش آب در کشاورزی، ۳۵(۳)، ۲۱۷-۲۳۴.

هاشمی نژاد، ی. (۱۳۹۰). مدیریت آبیاری در شرایط شور با استفاده از تعیین‌گر جبهه رطوبتی. پژوهش های خاک، ۲۴(۳)، ۲۶۵-۲۷۲.

هاشمی نژاد، ی. (۱۴۰۱). دستنامه مروری بر مفاهیم شوری خاک و اصول کنترل آن در آزمایش‌های لایسیمتری و مزرعه-ای. وزارت جهاد کشاورزی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی موسسه تحقیقات خاک و آب.

هنرجو, ن.، مردیها ,ا. (۱۳۹۸). امکان‌سنجی استفاده از پساب فاضلاب شهری بهارستان برای اصلاح اراضی شور و سدیمی دشت مرق اصفهان .جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، ۳۰(۲)، ۱-۱۶.

یزدان‌پناه, ن.، پذیرا, ا.، نشاط، ع.، محمودآبادی، م. (۱۳۹۱). بررسی تأثیر مواد مختلف اصلاحی بر برخی ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی خاک‌های شور و سدیمی .خشک بوم، ۲(۱)، ۸۳-۹۷.

Abbasi, H., Jamil, M., Haq, A., Ali, S., Ahmad, R., Malik, Z., Parveen, Z. (2016). Salt stress manifestation on plants, mechanism of salt tolerance and potassium role in alleviating it: a review. Zemdirbyste-Agriculture, 103(2), 229-238.

El Semary, N. A. H., Alouane, M. H. H., Nasr, O., Aldayel, M. F., Alhaweti, F. H., Ahmed, F. (2020). Salinity stress mitigation using encapsulated biofertilizers for sustainable agriculture. Sustainability, 12(21), 9218.

Khaled, H., Fawy, H. A. (2011). Effect of different levels of humic acids on the nutrient content, plant growth, and soil properties under conditions of salinity. Soil and water research, 6(1), 21.

Khataar, M., Mohammadi, M. H., Shabani, F. (2018). Soil salinity and matric potential interaction on water use, water use efficiency and yield response factor of bean and wheat. Scientific Reports, 8(1), 2679.

Khataar, M., Mosaddeghi, M. R., Amiri Chayjan, R., Mahboubi, A. A. (2018). Prediction of water quality effect on saturated hydraulic conductivity of soil by artificial neural networks. Paddy and Water Environment, 16(3), 631-641.

Mohammadi, M. H., Khataar, M. (2017). A simple numerical model to estimate water availability in saline soils. Soil Research, 56(3), 264-274.

Qadir, M., Quillérou, E., Nangia, V., Murtaza, G., Singh, M., Thomas, R. J., ... Noble, A. D. (2014, November). Economics of salt-induced land degradation and restoration. In Natural resources forum (Vol. 38, No. 4, pp. 282-295).

Saadat, H., Sedghi, M. (2024). The effect of seed priming with chitosan on the improvement of physiological and biochemical traits of soybean (Glycine max (L.) Merrill) under salinity stress. Russian Journal of Plant Physiology, 71(6), 187.

Saadat, S., Esmaeelnejad, L., Rezaei, H., Mirkhani, R. (2023). A Survey of Soil Salinity in Iran's Drylands. Land Management Journal, 11(2), 147-160.

Sadegh-Zadeh, F., Parichehreh, M., Jalili, B., Bahmanyar, M. A. (2018). Rehabilitation of calcareous saline-sodic soil by means of biochars and acidified biochars. Land Degradation & Development, 29(10), 3262-3271.

A Review of the Causes of Salinization and Sodification of the Country's Soils and Management Strategies for Rehabilitation

Mahnaz Khataar[1*] and Mahdi Ahmadian [2]

1*-Research Assistant Professor, Soil and Water Research Department, Hamadan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education, and Extension Organization, Hamadan, Iran.

Email: mah.khataar@gmail.com

2 - Researcher, Soil and Water Research Department, Hamadan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education, and Extension Organization, Hamadan, Iran.

Email: mahdi.ahmadian@gmail.com

Abstract

Soil salinization and sodification are among the most significant limitations and problems in arid and semi-arid regions worldwide, including Iran. The accumulation of salts and the increase of exchangeable sodium in these soils deteriorate physical and chemical soil properties, substantially reducing plant performance. This has detrimental effects on agricultural activities and severely threatens food security. This review article examines the causes of formation, physicochemical effects, diagnostic methods, and measurement indices used to classify saline and sodic soils. It also presents management and remediation strategies encompassing chemical, physical, and biological approaches, including leaching and drainage techniques, salt transformation processes, and land, irrigation, and agronomic management practices. **Keywords:** Soil amelioration, Salt redistribution, Soil structure, Ion toxicity