شوری خاک‌های کشاورزی
و راهکارهای کنترل آن در شرایط کم‌آبی

■ محمدحسن رحیمیان - استادیار آبیاری و زهکشی و عضو هیئت علمی مرکز ملی تحقیقات شوری

بر اساس آخرین اطلاعات موجود، از مجموع مساحت ۱۶۴٫۸ میلیون هکتار کشورمان، حدود ۸۸٫۳ میلیون هکتار (معادل با ۵۳٫۶ درصد از مساحت کل کشور با درجات مختلف شور است. از نظر جهانی، در رتبه چهارم بعد از چین، استرالیا و قزاقستان قرار داریم. این محاسبات در مقیاس کشوری توسط یکی از محققان ایرانی مقیم نروژ در سال ۲۰۲۰ میلادی منتشر شده‌است. البته این درصد شامل همه اجزای درون سرزمینی اعم از فلات‌ها و کفه‌های نمکی، کلوت‌ها و اراضی باتلاقی شور می‌شود. منظور از شور بودن اراضی در این طبقه بندی، شوری‌های بالاتر از ۲ دسی زیمنس بر متر است. عموماً طبقات شوری خاک به‌صورت کمتر از ۲ دسی زیمنس بر متر، ۲ تا ۴٫۴ تا ۸٫۸ تا ۱۲٫۱۲ تا ۱۶ و بالاتر از ۱۶ دسی زیمنس بر متر تعریف می‌شوند.



روند شورشدن آب چاه‌های کشاورزی و منابع خاک کشاورزی

آخرین تحلیل‌هایی که ما در سال ۱۴۰۰ در مرکز ملی تحقیقات شوری بر روی ۴۴۵ میلیارد مترمکعب از آبهای زیرزمینی مورد استفاده در بخش کشاورزی کشورمان انجام دادیم، مشخص می‌کند که متوسط هدایت الکتریکی چاه‌های کشاورزی کشور در حدود ۲ دسی زیمنس بر متر بوده و از نظر حجمی، حدود ۳۱ درصد از این منابع، دارای شوری‌های بالاتر از میانگین هستند. میانگین شوری آب‌های کشاورزی در بخش‌هایی از فلات مرکزی، جنوب و شرق کشور از عدد میانگین کشوری بسیار بالاتر است. استان‌هایی نظیر بوشهر، یزد، خراسان جنوبی، هرمزگان، قم، اصفهان، سمنان، سیستان و بلوچستان، فارس، خراسان رضوی و کرمان از آن جمله‌اند. به‌عنوان مثال، در حال حاضر متوسط شوری آب چاه‌های کشاورزی استان‌های یزد، خراسان جنوبی و بوشهر به‌ترتیب ۵،۲، ۵،۲ و ۵،۶ دسی زیمنس بر متر می‌باشد که در حدود ۲،۵ برابر میانگین شوری کشوری است. در مقیاس کشوری، شوری منابع آب زیرزمینی کشاورزی طی دو دهه اخیر به‌طور میانگین حدود ۰،۴ دسی زیمنس بر متر (۴۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر) افزایش داشته‌است. اما بررسی نقطه به نقطه شوری چاه‌ها و منابع آب کشاورزی، نشان‌دهنده افزایش قابل توجه شوری آب زیرزمینی در برخی مناطق بوده که متأسفانه موجب اُفت عملکرد شده و یا به تغییر الگوی کشت و نوع فعالیت‌های کشاورزی انجامیده‌است. همچنین، در برخی دشت‌های کشور، میانگین شوری آب‌های زیرزمینی به‌صورت قابل توجهی افزایش یافته‌است. این روند در مناطقی از یزد، کرمان، اصفهان، فارس، خراسان جنوبی و خراسان رضوی محسوس‌تر بوده و حتی افزایش تقریبی ۲ دسی زیمنس بر متر طی دو دهه داشته‌اند؛ در دشت‌هایی نظیر بهادران و مروست استان یزد، شوری این منابع طی یک دهه بین ۱،۵ تا ۲ دسی زیمنس بر متر افزایش یافته؛ به‌طوری که اکنون شوری چاه‌های مورد استفاده برای آبیاری درختان پسته حتی به ۲۲ دسی زیمنس بر متر هم رسیده‌است. همان‌طوری که قبلاً اشاره شد، می‌توان به کمک وضعیت شوری آب آبیاری، تخمین زد که شوری خاک مزارع و باغات در اراضی تحت شرب ما چگونه است. پس در واقع، سرعت شورتر شدن خاک‌های کشاورزی نیز تقریباً با همین روندی که در مورد آب‌های کشاورزی گفته شد، قابل تصور خواهدبود. زیرا شوری خاک متأثر از شوری آب آبیاری است، مگر اینکه بتوانیم حجم آب بیشتری را جهت کنترل شوری خاک مصرف کنیم که چنین چیزی در شرایط کمبود منابع آب، چندان مقدور و عملیاتی نخواهدبود.

راهکارهای کنترل شوری و کاهش خسارت آن

در واقع دو راهکار کلی برای حل مساله شوری اراضی زراعی و باغی می‌توان در پیش گرفت که شامل: ۱- مدیریت و کنترل شوری خاک در سطح باغ یا مزرعه و ۲- همزیستی و سازگاری با مساله شوری منابع آب و خاک از طریق کشت گیاهان سازگار و متحمل به شوری و انجام فعالیت‌های شوروزری می‌باشد که عمدتاً در شرایط خیلی شور و غیرمتعارف توصیه می‌شود. تمرکز اصلی زارعین و باغدارانی که با مساله شوری آب و خاک در کشت‌های متعارف سر و کار دارند بر روی راهکار اول است. این راهکار شامل مجموعه اقداماتی می‌شود که برای مدیریت شوری در طول فصل رشد گیاه و پیشگیری از شورترشدن مزرعه انجام می‌شود. انجام آبشویی به‌صورت همزمان با آبیاری‌ها و یا خارج از فصل رشد؛ استفاده اصولی از آن دسته سامانه‌های آبیاری که راندمان آبشویی بالایی دارند نظیر قطره‌ای یا بارانی؛ تسطیح دقیق‌تر سطح کرت‌ها به‌منظور ایجاد یکنواختی در توزیع آب و جلوگیری از تجمع موضعی املاح در نقاط مرتفع زمین؛ بهینه‌سازی و زمان‌بندی مناسب آبیاری با هدف کاهش اثرات توام خشکی و شوری؛ اختلاط عملیات آبیاری آب‌های شور با منابع آبی باکیفیت‌تر و توجه بیشتر به کوددهی و تغذیه گیاه در شرایط شور، می‌تواند در کاهش خسارت شوری به کشاورزان موثر باشد.

همچنین، جمع‌آوری دوره‌ای نمک‌های تجمع‌یافته از سطح خاک و شن‌پاشی سطح باغ و یا شخم‌زدن سطح خاک باغات پس از هر نوبت آبیاری از دیگر عملیات مفید و کنترل‌کننده شوری خاک به‌ویژه در مناطق خشک است که در بین باغداران پسته هنوز هم مرسوم است. باتوجه به حذف ارتباط موئینگی خاک پس از هر شخم، تبخیر کمتری از سطح خاک صورت گرفته و به تبع آن، املاح کمتری در سطح زمین تجمع پیدا می‌کنند. همچنین، این اقدام به کاهش درز و شکاف خاک‌های سنگین و جلوگیری از عبور آب در بین حفره‌های درشت خاک در حین آبیاری بعدی کمک می‌کند و به افزایش راندمان آبشویی می‌انجامد. همچنین، استفاده از اصلاح کننده‌های خاک که به تسهیل آبشویی و حذف سریع‌تر املاح خاک در حین آبشویی کمک می‌کنند، نیز مفید بوده و توصیه می‌شود. در کنار موارد اشاره شده، حتماً به این نکته توجه شود که کشاورزان در شرایط شور همواره خود را ملزم به افزایش مصرف آب آبیاری برای انجام عملیات آبشویی و کاهش شوری خاک می‌دانند و از راهکارهای دیگر، به‌عنوان اقدامات تکمیلی و موثر در امر آبشویی استفاده می‌نمایند. در واقع، کلید استفاده موفق و پایدار از منابع آب و خاک شور، انجام مستمر و دقیق عملیات آبشویی توام با زهکشی مناسب خاک می‌باشد. ضمناً برای مدیریت و کنترل بهتر شوری خاک به باغداران پیشرو پیشنهاد می‌شود که به پایش منظم خاک مزرعه خویش اهمیت دهند و همواره اطلاعات دقیق و به‌روز از وضعیت شوری سطحی و عمقی باغ خویش داشته‌باشند.

اندازه‌گیری و پایش شوری خاک

برای اندازه‌گیری و پایش مستمر شوری خاک، روش‌ها و ابزارهای مختلفی وجوددارد که ساده‌ترین آن نمونه‌برداری از خاک اعماق مختلف با مته نمونه‌برداری و یا بیل و انتقال به آزمایشگاه جهت تعیین شوری (هدایت الکتریکی) است. انتخاب تعداد مناسب نمونه و محل‌های مناسب برای نمونه‌برداری، بایستی به‌صورتی باشد که معرف کل آن باغ یا مزرعه باشد. هرچه تعداد نقاط نمونه‌برداری و پراکنش آنها بیشتر و بهتر باشد، میزان اطلاعاتی که از وضعیت شوری مزرعه کسب می‌شود، بیشتر و کامل‌تر خواهد بود. انتخاب اعماق نمونه‌گیری نیز وابسته به عمق ناحیه ریشه است که در مورد پسته، تا ۱۲۰ سانتی‌متر کفایت می‌کند. عمدتاً چهار عمق ۳۰-۰، ۶۰-۳۰، ۹۰-۶۰ و ۱۲۰-۹۰ سانتی‌متر و یا سه عمق ۴۰-۰، ۸۰-۴۰ و ۱۲۰-۸۰ سانتی‌متر را برای این کار در نظر می‌گیرند. برای کاهش تعداد نقاط نمونه‌گیری و کاهش حجم عملیات صحرایی در سطوح وسیع و تکرار دوره‌ای اندازه‌گیری‌ها، کشاورزان پیشرو می‌توانند از ابزارهای سریع‌تر و کم هزینه‌تر استفاده کنند و به‌جای بررسی نقطه‌ای و موضعی شوری، نهایتاً نقشه شوری خاک مزرعه خویش را در زمان‌های مختلف تهیه کنند. نقشه شوری خاک یک مزرعه به مدیریت مکانی نهاده‌های کشاورزی از جمله آب، کود و اصلاح کننده‌های خاک کمک زیادی می‌کند. حتی نقشه شوری یک کرت آبیاری و اطلاع از توزیع مکانی شوری خاک در امتداد آن، اطلاعات مفیدی راجع به نحوه توزیع و یکنواختی آب در کرت، وضعیت آبشویی، وضعیت تسطیح، شیب‌بندی زمین و ... را به ما می‌دهد. برای تهیه سریع‌تر و کم هزینه‌تر نقشه شوری اعماق مختلف خاک یک باغ وسیع، استفاده از ابزارهایی نظیر دستگاه القای الکترومغناطیس (EM) قابل توصیه است. این دستگاه انواع تجاری مختلفی دارد، سبک و قابل حمل بوده و با باطری کار می‌کند. این وسیله بر روی ارابه قابل نصب بوده و می‌تواند بر روی زمین کشیده شود و قرائت‌ها را حتی بدون تماس مستقیم با خاک و به‌صورت خودکار انجام دهد. البته به‌صورت دستی نیز می‌توان این وسیله را به نقاط مختلف باغ برد و شوری خاک آن نقطه را قرائت کرد. به‌طور میانگین در هر روز می‌توان یک باغ ۱۵ تا ۲۰ هکتاری پسته را با این دستگاه پایش کرد. نهایتاً با کمک نمونه‌برداری محدود خاک در چند نقطه برای واسنجی قرائت‌های دستگاه و یا با کمک برخی تصاویر ماهواره‌ای، نقشه شوری خاک باغ پسته تهیه و سپس تفسیر می‌شود.

تعریف آبشوئی

در مورد آبشویی، دو مقوله مهم باید مد نظر قرار بگیرند: کسر آبشوئی (LF) و نیاز آبشویی (LR)؛ همچنان که در مورد آب نیز دو تعریف مشابه داریم: آب مصرفی و نیاز آبی؛ و یا اینکه مفهوم کود مصرفی با نیاز کودی متفاوت است. کسر آبشویی در واقع بخشی از کل آب مصرفی هر باغ یا مزرعه است که مازاد بر نیاز آبی گیاه بوده و پس از آبیاری ضمن عبور از ناحیه ریشه، به اعماق پایین‌تر هدایت می‌شود و به‌طور همزمان، املاح موجود در خاک ناحیه ریشه را شست‌وشو می‌کند و با خود به پایین می‌برد. این تعریف را گاهاً کسر آبشویی واقعی نیز می‌نامند. مثلاً وقتی گفته می‌شود که کسر آبشوئی واقعی یک مزرعه ۲۰ درصد است، یعنی از ۱۰۰ واحد آب مصرفی، ۲۰ واحد آن از زیر ناحیه ریشه خارج شده و به اعماق پایین‌تر رفته‌است. کسر آبشویی به‌عنوان تلفات عمقی مفید آب در شرایط شور شناخته می‌شود و برای کنترل شوری خاک و پایداری تولید در شرایط شور ضروری و لازم می‌باشد. اما نیاز آبشوئی (LR) همان درصد آب مازاد مورد نیاز است که قبل از عملیات آبیاری، می‌توان با محاسبه آن‌را به‌دست آورد و بایستی در برنامه‌ریزی آبیاری یک مزرعه لحاظ شود تا در آینده مشکل شوری به‌وجود نیاید. اگر عملاً کسر آبشویی واقعی یک مزرعه به اندازه نیاز آبشویی آن مزرعه اتفاق نیفتد، شوری خاک ناحیه ریشه بالا رفته و بعد از چند نوبت آبیاری موجب خسارت به گیاه می‌شود. اگر هم کسر آبشویی واقعی یک مزرعه از نیاز آبشویی آن بیشتر باشد، هدررفت غیرمفید آب و همچنین وارد کردن نمک اضافی به خاک خواهیم داشت که باز هم خوب نیست. بنابراین، هر مزرعه با توجه به شوری آب آبیاری (ECiw) و شوری مورد انتظار خاک (ECe)، نیاز به درصد نیاز آبشویی معینی دارد که باید محاسبه و اعمال شود. منظور از شوری مورد انتظار خاک، حد آستانه تحمل به شوری گیاه است. به‌عنوان مثال، این عدد برای پسته در حدود ۱۰ دسی زیمنس بر متر است. با داشتن مقادیر ECiw و ECe، نیاز آبشویی را از این فرمول می‌توان محاسبه کرد:

$$LR = \frac{EC_{iw}}{5 * EC_e - EC_{iw}}$$

بنابراین، چنانچه شوری آب آبیاری یک باغ پسته ۱۰ دسی زیمنس بر متر باشد، به آبشویی ۲۵ درصدی برای این باغ نیاز خواهد بود تا املاح موجود در خاک ناحیه ریشه، از حد تحمل گیاه فراتر نروند و به محصول خسارت نزند. برای برآورد نیاز آبشوئی گیاهان مختلف، نمودارهایی نیز وجوددارند که بر مبنای همین فرمول کار می‌کنند، ولی استفاده از آنها ساده‌تر می‌باشد. با توجه به اینکه آب مورد نظر برای آبشوئی با آب آبیاری هر باغ فرقی نداشته و هر دو شور هستند، لذا باید نهایت دقت را به خرج دهیم تا اضافه‌تر از محاسبات آبشوئی، آب به باغ داده نشود. زیرا آب شور دارای مقداری املاح بوده و در هر آبیاری به املاح موجود در خاک اضافه می‌کند. به‌منظور کنترل این مساله، باید سعی شود که کسر آبشویی واقعی هر باغ با نیاز آبشویی آن برابر باشد. اندازه‌گیری کسر آبشویی واقعی در مزرعه به ابزارها و راه‌حل‌های مختلفی نیاز دارد که علاقه‌مندان به این موضوع، می‌توانند به مقالات علمی مربوطه مراجعه کنند.

آبشوئی در شرایط بحران آب

همان‌طور که اشاره شد، کلید استفاده موفق و پایدار از منابع آب و خاک شور، انجام مستمر و دقیق آبشویی توام با زهکشی مناسب خاک می‌باشد. به‌همین دلیل است که در شرایط شور عمدتاً به آب بیشتری نسبت به شرایط غیرشور نیاز خواهدبود. در چنین شرایطی، کشاورزان همواره خود را ملزم به آبشویی و افزایش مصرف آب آبیاری می‌دانند و از راهکارهای دیگر نظیر اقدامات به‌زراعی و

استفاده از مواد اصلاح‌کننده به‌عنوان اقدامات تکمیلی و موثر در امر آبشویی استفاده می‌نمایند. اما در شرایط کمبود آب و عدم امکان تامین نیاز آبشویی با کمک حقابه موجود، باید راهکارهای دیگری را نیز امتحان کرد. یکی از این راهکارها، کاهش سطح خیس شده زمین با هدف افزایش عمق آبیاری در هر نوبت است که اقدامی بسیار مفید و کاربردی در مورد باغات پسته محسوب می‌شود. در این روش، عرض نوارهای آبیاری از فاصله ردیف‌های کاشت کمتر بوده و کل سطح باغ تحت عملیات آبیاری قرار نمی‌گیرد. به‌همین دلیل است که حجم مشخص و محدودی از آب آبیاری به مساحت کمتری از زمین داده می‌شود و در مقابل، عمق آب آبیاری زیادتر از قبل می‌شود. افزایش عمق آب آبیاری به کنترل بهتر املاح و به پایین راندن نمک‌ها کمک زیادی خواهد کرد (شکل ۳). در این روش، حتماً لازم نیست که پشته‌های بین ردیف‌ها جابه‌جا شوند و پشته به تنه درختان نزدیک شود، بلکه می‌توان با شیب‌بندی عرضی کرت‌ها و شیب رو به سمت تنه درختان، آب را در طرفین درختان مهار کرد و به آب اجازه حرکت به سمت وسط ردیف‌ها را نداد. از دیگر راهکارهای مدیریت آبشویی در شرایط کمبود آب، انتقال زمان این عملیات به خارج از فصل رشد گیاه و آبشویی در فصول سرد بجای فصول گرم است که موجب بالا رفتن بازدهی عملیات آبشویی خواهدشد. حتی در مورد خاک‌های با نرخ نفوذپذیری کم (خاک‌های سنگین) که افزایش عمق آبیاری با هدف تأمین آبشویی، منجر به کاهش تهویه خاک و خسارت به درختان خواهد شد، آبشویی را می‌توان به خارج فصل رشد موکول کرد و یا اینکه با تواتر بیشتر آبیاری‌ها، عمق آب در هر نوبت را کاهش داد. استفاده از آبیاری بارانی به‌عنوان روش آبیاری اصلی و یا تکمیلی و با شدت پاشش کمتر از نرخ نفوذپذیری خاک و یا بکارگیری روش‌های موضعی به‌منظور ایجاد جریان غیراشباع آب در خاک، می‌تواند با مصرف حجم آب کمتر به کنترل بهتر شوری خاک در شرایط کمبود آب کمک کند.

شکل ۳- کاهش عرض نوارهای آبیاری از طریق شیب‌بندی زمین
در یکی از باغات پسته استان یزد (بافت خاک: نسبتاً سبک، شوری آب آبیاری: حدود ۶ دسی زیمنس بر متر، صرفه جویی مصرف آب: حدود ۵۰ درصد)



نقش مواد شیمیایی اصلاح‌کننده خاک و کنترل شوری

باید بین خاک‌های شور و خاک‌های سدیمی تفاوت قائل شد؛ به‌طوری‌که اصلاح خاک‌های شور عمدتاً از طریق آبشویی و اصلاح خاک‌های سدیمی از طریق کاربرد مواد اصلاحی امکان‌پذیر است. دومین نکته این است که مواد شیمیایی موجود در بازار (که به‌عنوان مواد ضدشوری، آنتی‌سالت، ضدسدیمی و آنتی‌سار شناخته می‌شوند) به‌تنهایی کنترل‌کننده شوری خاک و یا کاهش‌دهنده نسبت جذب سدیم خاک نیستند. اما چنانچه قبل و یا توام با عملیات آبشویی استفاده شوند، این مواد می‌توانند به افزایش سرعت نفوذ آب در خاک، جداسازی سریع‌تر یون‌های قابل تبادل چسبیده به ذرات خاک (به‌ویژه یون سدیم به‌عنوان کاتیون اصلی ایجاد کننده شوری و یا سدیمی کردن خاک) و جایگزینی با یون مفیدتری نظیر کلسیم یا پتاسیم، و نهایتاً افزایش اثربخشی آبشویی و کاهش شوری و سدیمی خاک مفید باشند. مواد اصلاح‌کننده موجود در بازار که می‌توانند موجب تسهیل در حذف سدیم و جایگزینی آن با کلسیم یا پتاسیم شوند، گوناگون هستند. ترکیبات کلسیم‌دار مانند گچ، گچ مایع، کلرید کلسیم و اسیدهایی نظیر اسید سولفوریک، گوگرد، سولفات آهن و سولفات آلومینیوم می‌توانند نقش اصلاحگر را در خاک‌های سدیمی و یا در خاکهای شور ایفا نمایند. لیکن، اطلاع دقیق از میزان یون جایگزین در ماده اصلاح‌گر (مثلاً کلسیم) و میزان سدیم قابل تبادل خاک و محاسبه مقدار لازم ماده اصلاح‌گر در هر هکتار بسیار مهم بوده که از طریق تجزیه و تحلیل‌های آزمایشگاهی و به کمک دستورالعمل‌های مربوطه، قابل محاسبه می‌باشند. برای جایگزینی سدیم موجود در خاک با یون کلسیم، می‌توان ابتدا کلسیم را به شکل محلول (مانند گچ مایع) به خاک اضافه نمود و سپس با آبشویی، سدیم را همراه با سایر نمک‌های محلول شست‌وشو داده و به اعماق پایین‌تر خاک و یا به درون شبکه زهکشی هدایت کرد. به‌جای سولفات کلسیم (گچ)، می‌توان از کلرید کلسیم نیز به‌عنوان اصلاح‌گر در برخی جاها استفاده نمود. در مورد آن دسته از خاک‌های شور که فاقد منبع کلسیم مانند گچ یا کربنات‌های آزاد باشند، می‌توان از گچ معدنی به‌صورت پودری استفاده نمود. اما در مورد خاک‌های آهکی که مقادیر قابل توجهی از سنگ آهک آزاد دارند، باید عنایت شود که این خاک‌ها به‌طور طبیعی دارای کربنات کلسیم هستند. ولی در محیط‌های قلیایی، قابلیت جایگزینی کلسیم آنها با سدیم خاک وجود ندارد. به‌همین دلیل است که برای اصلاح خاک‌های آهکی ابتدا باید با اضافه نمودن اسید و یا استفاده از کودهای اسیدی، شرایط تشکیل گچ (سولفات کلسیم) در خاک را ایجاد کرد تا نهایتاً حذف سدیم قابل تعویض در خاک با یون کلسیم اتفاق بیفتد. اسید سولفوریک، گوگرد، سولفات آهن و سولفات آلومینیوم از جمله موادی هستند که برای این منظور قابل استفاده‌اند. با توضیحاتی که داده شد، می‌توان نقش اصلاح‌گرهای غیرشیمیایی نظیر کودهای دامی و یا برخی مواد معدنی در کاهش شوری خاک را بهتر تفسیر و تبیین نمود؛ به‌طوری‌که این مواد با بهبود شرایط فیزیکی خاک و افزایش ضریب آبگذری می‌توانند موجب تسهیل فرایند زهکشی پس از انجام آبشویی شده و در کنترل بهتر شوری خاک مزرعه موثر واقع شوند.