مدیریت خاک های شور و سدیک

مقدمه

شوری خاک یک تهدید بزرگ برای سیستم های تولید کشاورزی و امنیت غذایی در بسیاری از کشورها است. شوری تقریباً ۱ میلیارد هکتار از زمین را در سراسر جهان تحت تأثیر قرار می دهد که معادل ۷ درصد وسعت قاره زمین است. حدود ۷ میلیون هکتار زمین تنها در هند دارای خاک شور است. شوری نه تنها بالغ بر ۲۰ درصد از کل اراضی زیر کشت و ۳۳ درصد از زمین های کشاورزی آبی جهانی را تحت تأثیر گذاشته است، بلکه به دلایل مختلف، از جمله بارش کم، تبخیر زیاد، استفاده از آب شور برای آبیاری و زهکشی ضعیف، مناطق شور سالانه ۱۰ در صد در حال افزایش هستند. جمیل و همکاران (۲۰۱۱) گزارش داد که بیش از ۵۰ درصد از زمین های قابل کشت جهانی تا سال ۲۰۵۰ تحت تأثیر شوری خاک قرار خواهد گرفت.

ویژگی های خاک های شور و سدیم

همه خاک ها دارای مقداری نمک محلول هستند. هوازدگی مواد معدنی منبع اصلی نمک‌های محلول در خاک است. منبع اصلی دیگر آب دریا در مناطق ساحلی و مصب رودخانه است. ریزش‌های اتمسفری، صعود کاپیلاری آب های زیرزمینی، نشت و آب آبیاری منابع دیگر نمکهای محلول هستند. نمک ها به طور مداوم به خاک اضافه می شوند و در عین حال برخی از نمک ها به طور مداوم توسط فرسایش و شستشو از سیستم خاک حذف می شوند. در برخی موارد، آبشویی بسیار کم است (مثلاً در مناطقی که نسبت بارندگی به تبخیر و تعرق کم است) و نمک های محلول در خاک تجمع می کنند. گاهی اوقات لایه ای از نمک به صورت پوسته نمکی در سطح خاک تجمع می یابد.

انواع نمک های محلول در خاک یافت می شود. برخی از این نمک ها مواد مغذی را برای گیاهان فراهم می کنند، اما هنگامی که به مقدار زیاد جمع شوند، برای گیاهان در حال رشد مضر می شوند. هنگامی که نمک ها در خاک بیشتر از حد بحرانی تجمع کنند، به آنها خاک های شور می گویند. گیاهان، در صورت وجود بیش از حد نمک های محلول در ناحیه ریشه، از تنش آبی، اختلالات غذایی و سمیت رنج می برند، مگر آنهایی که با محیط شور سازگار شده اند. برخی از خاک ها حاوی یون های سدیم قابل تبادل اضافی با یا بدون نمک اضافی هستند. به آنها خاک های سدیمی می گویند. خاکهای سدیمی بسیار دیسپرس و غیر قابل نفوذ هستند که واکنش بسیار قلیایی و کمبود برخی از مواد مغذی و سمیت برخی دیگر را ایجاد می کنند. شوری خاک می تواند یک رویداد طبیعی باشد یا ممکن است انسان زا باشد. بسیاری از خاک ها به دلیل

مدیریت نادرست آب شور شده اند. حدود ۲۳ درصد از زمین های زیر کشت جهان شور و ۳۷ درصد آن سدیم هستند (خان و دوک ۲۰۰۱). تقریباً نیمی از زمین‌های فاریاب به طور جدی تحت تأثیر شوری و سدیمی ثانویه قرار می گیرد.. با این حال، معیار قضاوت در مورد شوری خاک، میزان نمک های موجود در خاک نیست، بلکه رسانایی الکتریکی عصاره اشباع خاک (ECe) است. رسانایی الکتریکی متناسب با غلظت نمک در محلول است و تعیین آن نسبتا آسان است. عصاره اشباع با افزودن آب به خاک تا حداکثر ظرفیت نگهداری آب و سپس کشیدن محلول خاک تحت مکش به دست می آید. اگر رسانایی الکتریکی عصاره اشباع (ECe) در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد <٤ دسی زیمنس متر مربع باشد، خاک شور است. معیارهای سدیم، درصد سدیم قابل تعویض (ESP) و نسبت جذب سدیم (SAR) هستند.

$$ESP = \frac{\text{Exchangeable } Na^+}{CEC} \times 100, \text{and}$$

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{1}{2}\left(Ca^{2+} + Mg^{2+}\right)}}$$

اگر ESP از ۱۵ تجاوز کند یا SAR از ۱۳ بیشتر باشد، به خاک، سدیمی گفته می شود. بنابراین، خاک ها را می توان بر اساس ECe و ESP (یا SAR) به چهار دسته طبقه بندی کرد (جدول ۱۰,۱). واحد شوری $mmhos\ cm^{-1}$ (معکوس ohm) است؛ زیرا رسانایی معکوس مقاومت بوده و واحد مقاومت اهم است). بعداً به جای $mmhos\ cm^{-1}$ از $dS\ m^{-1}$ (decisiemens در هر متر) استفاده شد. فاکتورهای تبدیل این واحدها عبارتند از:

$$mmhos\ cm^{-1} = dS\ m^{-1} = mS\ cm^{-1} = 1000\ \mu S\ cm^{-1} = 1000\ \mu mhos\ cm^{-1}$$

Table 10.1 Categories of saline and sodic soils[a]

Category of soil	EC_e, dS m^{-1}	ESP Exchangeable sodium percentage (ESP)	SAR	Common name
Saline non-sodic	> 4	< 15	< 13	Saline soil
Saline sodic	> 4	> 15	>13	Saline-sodic soil
Non-saline sodic	< 4	> 15	> 13	Sodic soil
Non-saline non-sodic	< 4	< 15	< 13	Normal soil

[a]Classical classification of saline and sodic soils according to Richards (1954).

با این حال، تعیین رسانایی الکتریکی عصاره اشباع (ECe) برای برخی از آزمایشگاه‌ها کار خسته‌کننده‌ای است. مشکل مربوط به کشیدن عصاره تحت مکش است. همچنین امکان افزودن آب متغیر برای اشباع دسته های مختلف نمونه خاک وجود دارد. بنابراین، برخی از محققین از نسبت خاک و آب ۱:۱ یا ۱:۵ استفاده

کردند و با ECe (رسانایی الکتریکی عصاره اشباع) همبستگی داشتند. داده های قدیر و همکاران. (۲۰۱۰) در زیر خلاصه شده است.

Pre-leaching*	Post-leaching**	Combined***
$EC_e = 1.98 \times EC_{1:1}$	$EC_e = 2.16 \times EC_{1:1}$	$EC_e = 2.06 \times EC_{1:1}$
$EC_e = 6.53 \times EC_{1:5}$	$EC_e = 2.08 \times EC_{1:5}$	$EC_e = 2.42 \times EC_{1:5}$

خاک های شور

خاک های شور حاوی نمک های محلول خنثی زیادی هستند که بر رشد اکثر گیاهان زراعی تأثیر منفی می گذارد. ECe بزرگتر از $4\ dSm^{-1}$ هنوز به عنوان استاندارد برای خاک های شور در سراسر جهان استفاده می شود، اما بسیاری از محصولات در مقادیر ECe بسیار پایین‌تر کاهش عملکرد را نشان می‌دهند. کمیته اصطلاحات انجمن علوم خاک آمریکا مرز بین خاکهای شور و غیر شور را به $2\ dS\ m^{-1}$ کاهش داده است. جدول ۱۰,۲ طبقه بندی خاک های شور را بر اساس ECe و پاسخ گیاه ارائه می دهد.

نمک های طبیعی در خاک های شور عمدتاً شامل نمک های خنثی مانند کلریدها (Cl–) و سولفات های (SO4 2–) سدیم (Na+)، کلسیم (Ca2+)، منیزیم (Mg2+) و پتاسیم (K+) هستند، اگرچه NaCl نمک غالب است. نیترات ممکن است در چند مورد وجود داشته باشد. کربنات ها و بی کربنات ها معمولا وجود ندارند. بسیاری از خاک های شور حاوی مقادیر قابل توجهی گچ (CaSO4. 2H2O) در بخش زیرین نیمرخ خاک هستند. pH خاک های شور (حالت اشباع) تقریباً خنثی باقی می ماند اما ممکن است به ۸,۲–۸,۵ برسد. خاک های شور ساختمان خوبی دارند زیرا نمک های اضافی ذرات رس را در حالت لخته‌ای نگه می دارند. لخته سازی به ذرات کمک می کند تا به هم بچسبند و اتصال خود را به خاکدانه ها آغاز کنند. خاکهای شور عموماً دارای خواص فیزیکی خوبی هستند. آنها معمولا متخلخل و نفوذپذیر هستند. شستن این خاک ها با آب کم شور باعث پراکندگی خاک های شور با بافت ریز شده و در نتیجه نفوذپذیری نسبت به آب و هوا کم می شود. رشد لکه‌ای محصولات، سوختن برگ‌ها و پوسته‌های سفید نمک شاخص‌های مزرعه‌ای شوری خاک هستند.

Table 10.2 Soil salinity classes

Soil salinity class	EC_e, dS m^{-1}	Effect on crop plants
Nonsaline	0–2	Salinity effects negligible
Slightly saline	2–4	Yield of sensitive crops may be restricted
Moderately saline	4–8	Yield of many crops are restricted
Strongly saline	8–16	Only tolerant crops yield satisfactorily
Very strongly saline	>16	Only a few tolerant crops yield satisfactorily

Source: http://www2.vernier.com/sample_labs/AWV-09-COMP-soil_salinity.pdf

خاک های شور-سدیک

خاک‌های شور-سدیک دارای رسانایی الکتریکی عصاره اشباع بیش از ٤ دسی زیمنس بر متر و درصد سدیم قابل تعویض > ١٥ در صد ه ستند. مقادیر pH این خاکها معمولاً کمتر از ٨,٢ ا ست. این خاک ها هم نمک های محلول اضـافی دارند و هم سـدیم قابل تعویض اضـافی. نمک‌های غالب در خاک‌های شـور-سـدیک کلریدها و سولفات‌های سدیم، کلسیم و منیزیم همراه با کربنات‌ها و بی‌کربنات‌ها هستند. شرایط فیزیکی این خاک ها به شرط وجود نمک زیاد خوب است. غلظت بالای نمک ها کلوئیدها را لخته شده و متصل به هم نگه می دارد. ش ست شوی نمک ها ممکن ا ست باعث پراکندگی و تخریب ساختار خاک و از د ست دادن نفوذپذیری آب شود.

خاک های سدیک

خاک های سدیک (غیر شور) حاوی نسبت بالایی از سدیم قابل تعویض (بیش از ١٥ در صد) در سطوح کلوئیدی هستند که ذرات را پراکنده نگه می دارد و از اتصال آنها به خاکدانه ها جلوگیری می کند. بنابراین، سدیم قابل تعویض ا ضافی بر خواص فیزیکی، شیمیایی و تغذیه خاک اثر نامطلوبی دارد. معمولا یک لایه متراکم رسی در سطح یا نزدیک سطح خاک های سدیک وجود دارد. این لایه که اغلب کفه رس نامیده می شود، یک لایه محدود کننده ریشه ا ست. بسیاری از خاکهای ESP > 15 (یا SAR > 13) دارای خواص فیزیکی بسیار ضعیفی ه ستند که برای ر شد مح صول نامنا سب ه ستند. در این خاکها محتوای نمک های خنثی کم است. نمک های موجود در خاک های سدیک قادر به انجام هیدرولیز قلیایی هستند. کربنات ها و بی کربنات های Na^+، Ca^{2+} و Mg^{2+} غالب هستند. هدایت الکتریکی عصاره های اشباع کمتر از ٤ دسی زیمنس بر متر در دمای ٢٥ درجه سانتی گراد ا ست. pH ع صاره ا شباع خاک بالاتر از ٨,٢ ا ست. در برخی موارد، می تواند به ١٠,٥ برسد. مواد آلی پراکنده و محلول موجود در محلول برخی از خاکهای بسیار سدیک به آنها رنگ تیره ای می دهد که قبلاً به این خاکها خاک قلیایی سیاه می گفتند.

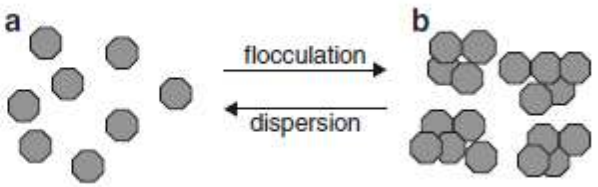


Fig. 10.1 Schematic representation of dispersion (a) and flocculation (b)

پراکندگی ذرات رس باعث ایجاد ساختار ضعیف خاک می شود و این خاک ها غیر قابل نفوذ و هدایت هیدرولیکی پایینی هستند. فرآیندهای برگشت پذیر پراکندگی و لخته سازی در شکل ۱۰,۱ نشان داده شده است. غلظت کل نمک در خاک های سدیک می تواند کم یا زیاد باشد، اما مفهوم سدیمی بر اساس نسبت بالای +Na به +Ca2 و +Mg2 است. هر دو ESP و SAR برخی از معیارهای بیان این نسبت هستند، اما معیار آزمایشگاه شوری خاک USDA از ESP > 15 برای خاک های سدیک به طور جهانی دنبال نمی شود. هنوز در ایالات متحده ESP> 15%دنبال می شود، اما در استرالیا، 6% حد مجاز ESP است. گاهی اوقات، پراکندگی حتی می تواند در مقادیر ESP < 1 رخ دهد. علت اصلی واکنش قلیایی خاک‌های سدیم هیدرولیز کاتیون‌های قابل تعویض یا نمک‌هایی مانند CaCO3، MgCO3، Na2CO3 و غیره است.

$$\text{Na-clay-Na} + H_2O \leftrightarrow \text{Na-clay-H} + Na^+ + OH^-$$

سدیم آزاد شده با یون های –OH ترکیب یا غیرفعال نمی شود، درنتیجه منجر به افزایش غلظت یون OH– و افزایش pH خاک می شود. هیدرولیز ترکیباتی مانند CaCO3 و MgCO3 طبق واکنش زیر انجام می شود:

$$CaCO_3 + 2H_2O \Leftrightarrow Ca^{2+} + 2OH^- + H_2CO_3$$

در اینجا +H از طریق ترکیب با کربنات غیرفعال می شود تا اسید کربنیک ضعیف یونیزه شده تشکیل شود. هیدرولیز CaCO3 و MgCO3 در خاک به دلیل حلالیت کم آنها محدود است و بنابراین، آنها تمایل به تولید pH بیشتر از ۸,۰–۸,۲ ندارند. خاک های حاوی Na2CO3 اضافی دارای PH بیشتر از ۸,۲ و تا ۱۰,۵ هستند. این به دلیل حلالیت بالاتر Na2CO3 است. تفاوت های عمده بین خاک های شور و سدیم در جدول ۱۰,۳ نشان داده شده است.

Table 10.3 Major distinguishing characteristics of saline and sodic soils

Characteristics	Saline soils	Sodic soils
Chemical	(a) There are neutral salts consisting of chlorides and sulfates of sodium, calcium and magnesium. (b) the pH of saturated soil paste is less than 8.2. (c) an electrical conductivity of the saturated soil extract is >4 dS m^{-1} at 25 °C. (d) There is no well-defined relationship between pH and ESP. (e). Soils may contain significant quantities of sparingly soluble calcium compounds, e.g. gypsum.	(a) Neutral salts are generally absent. Appreciable quantities of salts capable of alkaline hydrolysis, e.g. Na_2CO_3, present. (b) the pH of the saturated soil paste is more than 8.2. (c) ESP > 15; electrical conductivity of the saturated soil extract <4 dS m^{-1} at 25 °C but may be more if appreciable quantities of Na_2CO_3 etc. are present. (d) the pH and ESP are related. (e) Sodium is the dominant soluble cation. High pH of the soils results in precipitation of soluble ca and mg such that their concentration in the soil solution is very low. (f) Gypsum is nearly always absent in such soils.
Physical	(a) for excess soluble salts the clay fraction is flocculated, and the soils have a good structure. (b) Permeability of soils to water and air is good.	(a) Excess exchangeable sodium causes dispersion of clay and poor soil structure. (b) Permeability of soils to water and air is restricted. .
Effect on plant growth	In saline soils plant growth is adversely affected: (a) Chiefly through the effect of excess salts on the osmotic pressure of soil solution resulting in reduced availability of water; (b) through toxicity of specific ions, e.g. Na, cl, B, etc.	In sodic soils plant growth is adversely affected: (a) Chiefly through the dispersive effect of excess exchangeable sodium resulting in poor physical properties; (b) through the effect of high soil pH on nutritional imbalances including a deficiency of calcium; (c) through toxicity of specific ions, e.g. Na, CO_3, Mo, etc.
Soil improvement	Improvement of saline soils essentially requires the removal of soluble salts in the root zone through leaching and drainage.	Chemical amendments followed by leaching, irrigation and drainage are needed.

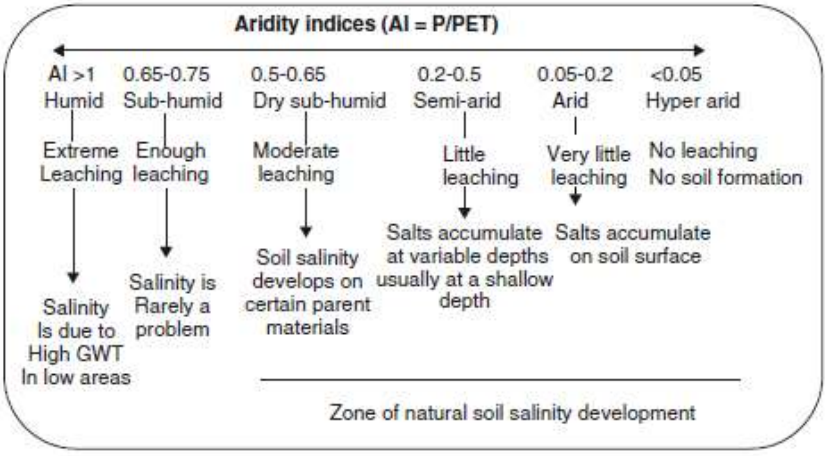
توسعه شوری و سدیمی در خاک

علل طبیعی و انسانی توسعه شوری خاک وجود دارد. علل طبیعی شامل آبشویی کم یا ناکافی به دلیل خشکی، مواد مادری خاک، عمق کم آب زیرزمینی با املاح زیاد، زشت شور، بالا آمدن موئینه آب به دلیل خشکی در خاک سطحی، سیلاب‌های ساحلی و غیره می‌باشد. دلایل انسانی شامل سیستم آبیاری نادرست، سیستم زهکشی معیوب، استفاده از آب شور برای آبیاری، ایجاد استخرهایی با آب شور برای استحصال نمک و همچنین پرورش میگو است

اگر خاک سدیمی باشد، آنیون غالب ممکن است کربنات و بی کربنات و کاتیون غالب سدیم باشد. ارتباطی از تجمع نمک طبیعی در خاک با مناطق آب و هوایی وجود دارد. محلول‌ترین نمک‌ها، مانند کلریدهای منیزیم و کلسیم، تنها در خشک‌ترین شرایط یافت می‌شوند. سولفات های منیزیم و سدیم و کلرید سدیم در محیط های خشک و نیمه خشک رایج هستند. با افزایش رطوبت، محلول ترین نمک ها از بین می روند و فقط گچ و در نهایت فقط کربنات کلسیم یافت می شود.

شوری

دو فرآیند عمده شوری وجود دارد: شوری طبیعی یا اولیه و شوری ناشی از انسان یا ثانویه. بیشتر خاک های شور در مناطق خشک و نیمه خشک یافت می شوند. هر چه شاخص خشکی (AI = P/PET) کمتر باشد، میزان دسترسی به آب برای شستشوی نمک های محلول کمتر است. بنابراین، در یک شاخص خشکی کمتر، شانس بیشتری برای تجمع نمک های محلول در سطح خاک وجود دارد (شکل ۱۰,۲). در مناطق خشک و نیمه خشک، تبخیر و تعرق بسیار بیشتر از بارندگی است یا نسبت بارش/تعرق کم است.



نمک های آزاد شده از هوازدگی مواد معدنی به دلیل نفوذ ناکافی قابل شستشو نیستند. علاوه بر این، افزایش مویرگی آب نمک ها را به سمت بالا می آورد. آب تبخیر می شود و نمک ها را در خاک سطحی باقی می گذارد (شکل ۱۰,۳). همچنین شوری در خاک های نواحی ساحلی و مصب با طغیان آب دریا و هجوم آب شور در تالاب ها و فرورفتگی ها ایجاد می شود. در حوضه های مناطق مرطوب، بالا آمدن آب های زیرزمینی شور اغلب باعث شوری خاک می شود. سطح آب زیرزمینی کم عمق می تواند به توسعه شوری خاک در مناطق خشک و مرطوب کمک کند. مطالعات نشان داده اند که تبخیر بیش از حد از سطح خاک می تواند به دلیل صعود مویینه آب از آبهای زیرزمینی در عمق ۱-۲ متری خاک رخ دهد که به توسعه

شوری ناحیه ریشه کمک می کند. مشکلات شوری زمانی که شوری آب های زیرزمینی بالا باشد، می تواند شدیدتر باشد، همانطور که معمولاً در مناطق خشک اتفاق می افتد.

آبیاری با آب شور بدون زهکشی کافی باعث شوری در بسیاری از خاکها شده است. در مناطق ساحلی، پرورش دهندگان میگو و برداشت کنندگان نمک از آب دریا در دراز مدت باعث شوری بسیار شدید خاکها می شوند. نشت نمک (Saline seeps) نوعی شوری در مناطق خشک است که در غرب استرالیا و در منطقه دشت بزرگ آمریکای شمالی گسترده است. این فرایند به طور گسترده در کانادا در استان های دشت مانیتوبا، ساسکاچوان و آلبرتا و در ایالات متحده در ایالت های مونتانا، داکوتای شمالی و جنوبی، در آفریقای جنوبی، ایران، افغانستان، تایلند و هند رخ می دهد. در این فرآیند، در قسمت بالایی شیب آب به یک لایه نسبتاً نفوذ ناپذیر نفوذ می‌کند و به سمت پایین شیب حرکت می‌کند و نمک‌های محلول را حمل می‌کند و در یک نقطه پایین‌تر یا فرورفتگی تخلیه می‌کند. آب در آنجا تبخیر می شود و نمک ها به جای می گذارد. سپس توسعه تراوش‌های نمکی شامل دو ناحیه در مزرعه می شود – نواحی شارژ و تخلیه (شکل ۱۰,٤).

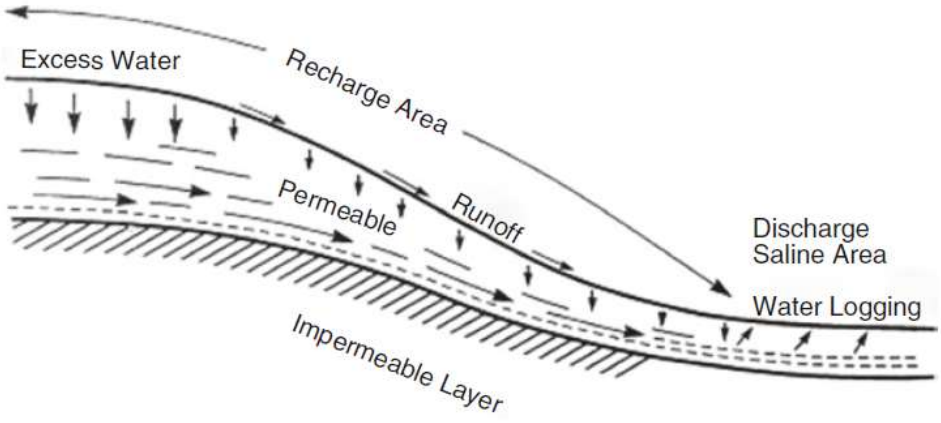


Fig. 10.4 Formation of saline soils through saline seeps

سدیمی شدن

سدیمی یک حالت فیزیکویمیایی خاک است که به دلیل وجود نسبت زیاد یون های سدیم قابل تبادل (بیش از ۱۵ درصد) بر روی سطوح کلوئیدهای خاک ایجاد می شود به طوری که آنها بسیار پراکنده و چسبنده و در عین حال بسیار قلیایی می شوند (معمولاً PH ۸,۲ و بالاتر). سدیمی شدن خاک را در شرایط مرطوب غیر قابل نفوذ می کند، باعث سستی خاکدانه ها می شود و در هنگام خشک شدن پوسته های سطحی ایجاد میکند. غلبه یون های Na+ در محلول خاک و در موقعیت های تبادلی می تواند تحت شرایط خاصی در

مناطق نیمه خشک و خشک مانند برخی از دریاچه های نمک و مناطق ساحلی رخ دهد. معمولاً کاتیون های Ca2+ و Mg2+ در خاک های خشک و نیمه خشک کاتیون های غالب هستند. هنگامی که این یون ها از محلول به صورت ترکیبات کلسیم و منیزیم رسوب کنند، غلبه یون Na+ در محلول و محل تبادل خاک و باعث سدیمی می شود.

مکانیسم‌هایی زیر توسط ون بریمن و برمن (۲۰۰۲) برای سدیمی شدن خاک پیشنهاد شده است:

(۱) شستشوی طولانی مدت، طبیعی یا حذف نمک‌ها و یون‌های Ca2+ از محلول خاک و غالب شدن یون‌های Na+

(۲) تجمع نسبتاً زیاد نمک‌های Na که باعث نسبت بیشتری از Na+ محلول و قابل تعویض می‌شوند،

(۳) انباشته شدن Na2SO4 در برخی بستر دریاچه‌ها و احیای آن در شرایط مرطوب و در حضور مواد آلی به Na2CO3 که باعث سدیمی می‌شود و

(٤) (IV) حضور بیش از حد یون‌های HCO3- نسبت به یون های Ca2 و Mg2 در محلول های خاک. اگر Ca2+ بطور قابل ملاحظه‌ای کمتر از یون‌های HCO3- باشد، تمام یون‌های Ca2+ به صورت CaCO3 رسوب می‌کنند و یون‌های Na+ در محلول خاک و در سطوح کلوئیدی غالب می شوند که باعث سدیمی شدن خاک می‌شوند.

توزیع خاک های شور و سدیک در جهان

اگرچه برآورد قبلی نشان می‌دهد که ۹۳۲,۲ میلیون هکتار خاک آسیب‌دیده از نمک، شامل ۳۵۱,۵ متر هکتار خاک شور و ۵۸۱,۰ میلیون هکتار خاک‌های سدیمی بر اساس گزارش فائو در سال ۲۰۰۰، وجود دارد، اما کل مساحت جهانی خاک‌های متاثر از نمک شامل خاک‌های شور و سدیم، ۸۳۱ میلیون هکتار بوده است که در تمام قاره ها از جمله آفریقا، آسیا، استرالیا، و قاره آمریکا گسترش یافته است. بر اساس نقشه خاکی فائو/یونسکو، مساحت کل خاک های شور ۳۹۷ میلیون هکتار و خاک های سدیم ٤۳٤ میلیون هکتار است. بیشتر زمین های تحت تاثیر نمک در محیط های خشک و نیمه خشک قرار دارند.

خاک های متاثر از نمک در بیش از ۷۵ کشور جهان، بیشتر در آفریقا (۳۱) و آسیا (۲۵) و برخی در قاره آمریکا (۱۳) وجود دارند. شوری ناشی از انسان در چند دهه گذشته در چندین طرح آبیاری عمده در سراسر جهان مشاهده شده است (قدیر و همکاران ۲۰۰۷)، از جمله حوضه هندوگانژیک در هند (گوپتا و آبرول ۲۰۰۰)، حوضه ایندوس در پاکستان (اسلام و پراتاپار ۲۰۰٦). ، حوضه رودخانه زرد در چین (Chengrui و Dregne 2001)، حوضه فرات در سوریه و عراق (Sarraf 2004)، حوضه Murray-Darling در

استرالیا (Rengasamy 2006) و San Joaquin Valley در ایالات متحده (Oster and Wichelns 2003).

پراکندگی شوری در ایران

بیش از ۹۰ ٪ کشور ایران دارای اقلیم خشک است. متوسط بارندگی سالیانه کشور از ۵۰< میلیمتر در کویر تا ۱۶۰۰< میلیمتر در حاشیه دریای خزر متغیر است. متوسط بارندگی سالیانه ایران در حدود ۲۵۳ میلیمتر است، از طرف دیگر، تبخیر سالیانه ایران از ۷۰۰ میلیمتر در سواحل دریای خزر تا ۴۰۰۰< میلیمتر در مناطق کویری و بیابانی کشور و جنوب شرقی استان خوزستان متغیر است. متوسط تبخیر سالیانه ایران در حدود ۲۱۰۰ میلیمتر است. بنابراین، از آنجا که ۹۰ ٪ اقلیم ایران جزو اقلیم خشک طبقه بندی شده، و با توجه به بارندگی کم و تبخیر زیاد در سطح وسیعی از کشور، پدیده شوری خاک در ایران بسیار گسترده و جدی بوده و از عمدهترین دلایل محدودیت توسعه کشاورزی در کشور است. پس از فرسایش و کمبود منابع آب شیرین و باکیفیت، شوری و کیفیت پایین آب برای آبیاری مهمترین عوامل محدودکننده کشاورزی در ایران هستند.

طبق آمار موجود، در حدود ۲۵ / ۵ میلیون هکتار از اراضی کشور دارای شوری کم تا متوسط، و در حدود ۸ / ۵ میلیون هکتار دارای شوری شدید میباشند، که در مجموع ۳۴ میلیون هکتار از کل مساحت کشور را شامل میشود. اراضی دارای شوری کم تا متوسط عمدتاً در کوهپایه های زاگرس و البرز، و اراضی دارای شوری زیاد عمدتاً در فلات مرکزی، دشتهای ساحلی جنوب، خوزستان و دشتهای ساحلی دریای خزر وجود دارند. تخمین زده شده که از ۷ / ۳ میلیون هکتار اراضی آبی کشور، حداقل در حدود ۲ / ۱ میلیون هکتار (در حدود ۳۰ ٪) شور میباشد. همچنین، حداقل ۰ / ۶ میلیون هکتار از اراضی دیم کشور نیز مبتلا به شوری است. دلیل اصلی شوری اراضی آبی و دیم، فعالیتهای بشری (شوری ثانویه) میباشد. لذا، مسئله شوری در ایران بسیار جدی است.

شاخص های میدانی شوری خاک

برخی علائم وجود دارد که می تواند نشان دهد آیا شوری ممکن است روی یک سایت تأثیر گذاشته باشد یا خیر. برخی از این شاخص ها در زیر فهرست شده اند. دقت شود که تشخیص این شاخص ها همیشه آسان نیست. ممکن است یک یا چند علامت در مرحله اولیه شوری ایجاد شود یا هیچ علامتی ظاهر نشود. علاوه بر این، علائم خاک یا گیاهان معمولاً در مراحل پیشرفته شوری ایجاد می‌شوند، زمانی که اقدامات اصلاحی می‌تواند زمان‌بر و پرهزینه باشد. پیشگیری از شوری عاقلانه تر از درمان آن است.

- تکه های سوختگی برگ در مزرعه زراعی.
- لکه هایی از گیاهان مقاوم به نمک در حال رشد.
- افزایش رطوبت خاک در مناطق نیمه خشک و خشک.
- الگوهای نامنظم رشد محصول و ضعف گیاه.
- کچلی و «سوختگی» در سطح مزرعه.
- لکه ها و رگه های سفید در خاک
- پوسته سفید روی سطح.

تأثیر شوری خاک بر گیاهان

شـــوری خاک اثرات نامطلوب خود را بر روی گیاهان گلیکوفیتی (هر گیاهی که فقط در خاک هایی با محتوای کم نمک رشد می کند) به دو صورت متفاوت اعمال می کند:

الف) با کاهش پتانسیل کل آب خاک از طریق اثرات اسمزی نمکها،

و (ب) با فعالیت یونهای خاص.

ســهم نســبی این دو مکانیســم به دلیل تنوع زیاد بین خاک، نمک و گیاهان همیشــه قابل پیش بینی نیســت (Yadav et al. 2011). اثر اولیه شوری به ویژه در غلظت های کم تا متو سط به دلیل اثرات ا سمزی آن است. اگر پتانسیل آب خاک به دلیل وجود غلظت بالای نمک در محلول خاک بسیار کم با شد، گیاهان نمی توانند آب کافی را از خاک جذب کنند. تنش نمک به نوعی شـــبیه تنش آبی اســـت. با این حال، برخی از گیاهان می توانند از طریق تنظیمات اســمزی خود را با درجه ای از شــوری ســازگار کنند، به طوری که می توانند پتان سیل ورود آب را حفظ کنند. آنها گیاهان مقاوم به نمک ه ستند. در سال های اخیر، مناطق شور بیشتری برای تولید مواد غذایی، چوب، سوخت زیستی و غیره زیر کشت قرار گرفته‌اند (Haque 2006). برخی از گیاهان زراعی حتی به شوری پایین خاک ب سیار ح ساس ه ستند، در حالی که برخی دیگر ن سبتاً متحمل هستند. به عنوان مثال، پنبه، یک محصول مهم در سراسر جهان، به عنوان یکی از محصولات متحمل به نمک طبقه بندی می شود و یکی از محصولات پیشگام در احیای خاک های شور محسوب می شود. اما رشد، عملکرد و کیفیت الیاف آن تحت تأثیر نمک های بیش از حد در خاک قرار می گیرد.

هر نمک ممکن ا ست تأثیر متفاوتی بر ر شد گیاهان دا شته با شد. شوری تا حد زیادی جوانه زنی بذر، ر شد گیاهچه و استقرار محصول را کاهش می دهد، اگرچه تأثیر در مرحله اولیه رشد رویشی بیشتر است. کاهش

طول و وزن ریشه و اندام هوایی در مراحل اولیه رشد در پاسخ به شوری برای چندین گیاه زراعی گزارش شده است. شوری باعث کاهش تعداد برگ، سطح برگ و فتوسنتز می شود. شوری به طور جدی بر محتوای کلروفیل برگ، متابولیسم کربن فتوسنتزی و کارایی فتوسنتز تأثیر می گذارد.

اثر یونی خاص شامل سمیت یونی و/یا اختلالات تغذیه ای ناشی از یک یا چند یون است که معمولاً با شوری مرتبط هستند از جمله کاتیون های Na+، Ca2+ و Mg2+ و آنیون های Cl-، SO42- و HCO3-. افزایش غلظت برخی یون های محلول در خاک ممکن است جذب آنها و غلظت آنها را در بافت گیاه افزایش دهد و از آستانه سمیت گیاه فراتر رود. هر دو Na+ و Cl- برای گیاهان سمی هستند. این سطح به نوع گیاهان، نوع بافت گیاهی و شرایط خاک بستگی دارد. غلظت بالای NaCl بر جذب سایر مواد مغذی مانند K+، Ca2+، N و P تاثیر منفی دارد. تجمع Na+ در بافت برگ منجر به نکروز و ریزش برگ ها می شود. Na+ و Cl- اضافی در جذب فسفر، آهن و روی نیز تداخل میکند. سطوح بالای Na+ یا نسبت Na+:K+ همچنین می‌تواند فرآیندهای آنزیمی مختلف در سیتوپلاسم را مختل کند و به نظر می‌رسد اختلال در سنتز پروتئین یکی از اثرات مهم Na+ باشد.

یون هایی که ممکن است در خاک شور ایجاد سمیت گیاهی کنند، عموماً شامل Cl-، B و Al2+ هستند. تنش های یونی ممکن است یکپارچگی و گزینش پذیری غشای پلاسمایی ریشه، هموستازی یون های ضروری و فعالیت های متابولیکی متعدد را مختل کند (Zhu 2001). بسیاری از خاک‌های شور که برای تولید غلات استفاده می شوند، دارای سطوح پایین روی موجود در گیاه هستند، زیرا روی ممکن است با نمک‌های محلول (CO3 2-، SO42-، Na+) در pH های قلیایی کمپلکس تشکیل دهد یا با آن رقابت کند. از آنجایی که محصولات زراعی مسیر اصلی اکثر مواد معدنی ضروری به بدن انسان هستند، شوری ممکن است به طور غیر مستقیم به کمبود مواد معدنی در میلیاردها نفر منجر شود. اثرات اولیه شوری منجر به اثرات ثانویه متعددی مانند استرس اکسیداتیو می شود که با تجمع گونه های اکسیژن فعال (H2O2، O2-، OH) مشخص می شود که بالقوه برای غشاهای زیستی، پروتئین ها، اسیدهای نوکلئیک و آنزیم ها مضر هستند.

اثرات سدیم بر رشد گیاه

خاک های سدیمی به یک یا چند مورد از روش های زیر بر رشد گیاه تأثیر منفی می گذارند:

ایجاد شرایط فیزیکی نامناسب: سدیم قابل تعویض بیش از حد باعث شخم‌پذیری ضعیف و روابط نامطلوب رطوبت و هوادهی خاک می شود. در چنین شرایط فیزیکی، خاک های سدیمی دارای نفوذپذیری

کمی در برابر هوا و آب هستند. پوسته های سطحی متراکم و غیر قابل نفوذ ممکن است در نتیجه پراکندگی ایجاد شوند. به دلیل حرکت ذرات رس پراکنده، یک لایه فشرده از خاک رس در زیر لایه سطحی برخی از خاک های سدیم ایجاد می شود. این لایه رشد سیستم ریشه گیاهان را محدود می کند. در نتیجه رشد گیاهان کاهش می یابد.

ثانیاً، خاکهای سدیم دارای دسترسی کمی به برخی عناصر غذایی هستند. سدیم قابل تعویض بیش از حد ، PH خاک را به بالای ۸,۲ افزایش می دهد. PH بسیار قلیایی خاک های سدیمی، دسترسی برخی از عناصر غذایی ضروری گیاه مانند فسفر، آهن، منگنز و روی را کاهش می دهد. در pH بسیار بالا، غلظت عناصر کلسیم و منیزیم در محلول خاک به دلیل تشکیل کربنات های کلسیم و منیزیم نسبتا نامحلول در اثر واکنش با کربنات سدیم محلول و غیره کاهش می یابد و منجر به کمبود آنها می شود.

ثالثاً، تجمع برخی عناصر در گیاهان در سطوح سمی ممکن است منجر به آسیب گیاه یا کاهش رشد و حتی مرگ شود (اثرات یونی خاص). عناصری که بیشتر در خاکهای سدیم سمی هستند عبارتند از سدیم، مولیبدن و بور. علائم معمول سمیت سدیم سوختگی برگ، سوختگی و بافت مرده در امتداد لبه های بیرونی برگ ها است. اگر کلسیم کافی در خاک موجود باشد، سمیت سدیم اغلب اصلاح یا کاهش می یابد. سدیم اضافی در خاک ممکن است باعث کمبود کلسیم شود. لیستی از گیاهانی که از سمیت سدیم و بور در خاک های سدیم رنج می برند در زیر آورده شده است:

سمیت سدیم: آووکادو (Persea Americana)، گریپ فروت (Citrus paradisi)، پرتقال (Citrus sinensis)، هلو (Prunus persica)، لوبیا سبز (Phaseolus vulgaris)، پنبه (Gossypium hirsutum)، ذرت (Zea mays)، نخود فرنگی (Pisum) ماش (Phaseolus aurus)، پوره (Phaseolus mungo)، عدس (Lens culinaris)، بادام زمینی (Arachis hypogaea)، گرم (Cicer arietinum) و لوبیا چشم بلبلی (Vigna sinensis).

سمیت بور: لیمو (Citrus limon)، شاه توت (Rubus spp.)، آووکادو (Persea Americana)، گریپ فروت (Citrus paradisi)، پرتقال (Citrus sinensis)، زردآلو (Prunus armeniaca)، هلو (Prunus persica)، گیلاس (Prunus avium) آلو (Prunus domestica)، انگور (Vitis vinifera)، گردو (Juglans regia)، اسپند (Carya illinoiensis)، لوبیا چشم بلبلی (Vigna unguiculata)، پیاز (Allium cepa)، سیر (Allium sativum)، سیب زمینی شیرین (Ipomoea batatas)، گندم (Triticum eastivum)، جو (Hordeum vulgare)، آفتابگردان (Helianthus

annuus)، ماش (Radio Vigna)، کنجد (Sesamum indicum)، لوپین (Lupinus hartwegii)، توت فرنگی (Fragaria spp.)، لوبیا قرمز (Phaseolus)، لوبیا قرمز (Phaseolus) لوبیا لیما (Phaseolus lunatus) و بادام زمینی (Arachis hypogaea).

احیا و مدیریت خاکهای شور

برای مدیریت خاک های شور برای تولید محصول، اقدامات مدیریت یکپارچه خاک، آب و محصول مورد نیاز است. بسیاری از خاک‌های کم شور می‌توانند به طور سودآوری برای محصولات مقاوم به شوری مناسب بدون انجام فرآیندهای زمان‌بر و پرهزینه احیا استفاده شوند. در برخی موارد، ممکن است نمک ها تا حد قابل تحمل رقیق شوند یا با شستشو حذف شوند. استفاده برخی از خاک ها برای برداشت نمک سودآورتر است. در جایی که یک پوسته نمکی روی سطح وجود دارد، پوسته زدایی ممکن است با خراش دادن مکانیکی و با شستشوی خاک برای بهبود رشد محصول انجام شود. برای احیای بیشتر خاک های شور شستشو مورد نیاز است. که به حذف نمک های اضافی از نیمرخ خاک با آب نفوذی اشاره دارد. آبشویی به آب بیشتری نسبت به آبیاری معمولی نیاز دارد و مقدار آب اضافی مورد نیاز باید قبل از انجام لیچینگ دریافت شود. برخی از خاک ها ممکن است قبل از شسته شدن نیاز به لایه برداری داشته باشند. برخی از خاک ها فقط کمی شور هستند. برای محصولات با ریشه کم عمق، نمک ها ممکن است با شستشوی موقت به زیر ناحیه ریشه هدایت شوند. این تکنیک نسبت به لیچینگ معمولی به آب کمتری نیاز دارد. معمولاً برای احیای خاکهایی که حاوی نمک اضافی هستند، نیازی به اصلاحات شیمیایی نیست.

اصول مدیریت خاکهای شور

شیوه های مدیریتی برای خاک های شور ممکن است بر اساس اصول زیر باشد:

• انتخاب محصولات مقاوم به شوری: این می تواند یک گزینه مناسب برای مدیریت پایدار خاک های با شوری کم بدون استفاده از تلاش های قابل توجه احیاء باشد. برخی محصولات هستند که می توانند شوری متوسط تا زیاد را تحمل کنند.

• رقیق کردن نمک ها در ناحیه ریشه: نمک ها از طریق ریشه بر محصولات تأثیر می گذارند (مگر اینکه آبیاری بارانی انجام شود). اگر بتوان غلظت نمک در ناحیه ریشه را کاهش داد، خطر نمک را می توان کاهش داد (آبیاری قطره ای با آب با کیفیت خوب یک سیستم کارآمد برای رقیق کردن نمک های اطراف ریشه است).

• بهبود ســـاختمان خاک از طریق افزودن آلی برای بهبود نفوذ و هدایت هیدرولیکی. تجزیه و تخریب لایه های محدود کننده ریشه باعث بهبود ریشه زایی گیاهان زراعی و شرایط هیدرولوژیکی خاک می شود.

• شستشوی نمک ها با آبیاری و زهکشی. آب اضافی برای شسته شدن نمک های اضافی از ناحیه ریشه مورد نیاز است. کیفیت آب آبیاری و تخلیه ایمن آب شور نیز باید مورد توجه قرار بگیرد.

• کاهش تبخیر با مالچ یا گیاهان پوششی. تبخیر بیشتر محلول خاک را غلیظ می کند و صعود مویینه آب های زیرزمینی را افزایش می دهد.

• حفظ سطح آب زیرزمینی در عمق ایمن زیر ناحیه ریشه.

انتخاب محصولات متحمل به نمک

چندین روش مدیریتی می تواند سطوح نمک را در خاک کاهش دهد، اما گاهی اوقات کاهش شوری خاک به سطوح مطلوب یا غیرممکن یا بسیار پرهزینه است. در برخی موارد، تنها گزینه مدیریت قابل دوام، کشت محصــولات مقاوم به نمک اســت. محصــولات متحمل به نمک نیز در هنگام احیای خاکهای شــور مفید و سودآور هستند. به طور کلی، تحمل یک محصول به شوری خاک بر اساس سه معیار زیر است:

(i) توانایی محصول برای زنده ماندن در خاک های شور،

(ii) عملکرد محصول در خاک های شور، و

(iii) عملکرد نسبی محصول در خاک شور در مقایسه با عملکرد آن در خاک غیر شور در شرایط رشد مشابه.

تحمل به نمک بر اساس توانایی یک گیاه زراعی برای زنده ماندن از اهمیت عملی محدودی در کشاورزی آبیاری برخوردار است. عملکرد در خاک های شور از اهمیت زراعی بیشتری برخوردار است، اما معیار سوم مبنای بهتری را برای مقایسه بین محصولات متنوع فراهم می کند. در مقاله آبیاری و زهکشی فائو ۲۹، آیرز و وستکوت (۱۹۸۵) محصولات زراعی رایج، محصولات سبزیجات و محصولات میوه و پتانسیل کاهش عملکرد آنها در سطوح مختلف شوری خاک (ECe) و شوری آب (ECw) را فهرست کردند. بر اساس داده های آنها جداول ۱۰,۵، ۱۰,٦ و ۱۰,۷ به ترتیب برای نشان دادن تحمل نسبی شوری خاک در محصولات مختلف مزرعه، محصولات سبزیجات و محصولات میوه بوجود آمد. با این حال، تحمل مطلق به شوری به نوع خاک، مراحل رشد محصول، آب و هوا و اقدامات زراعی بستگی دارد. این داده ها را می توان به عنوان

دستورالعملی برای انتخاب محصولات زراعی برای خاک هایی با سطوح مختلف شوری استفاده کرد. حداکثر مقدار متو سط ECe که مح صول می تواند بدون کاهش عملکرد تحمل کند، به عنوان مقدار آ ستانه شناخته می شود. درصد کاهش عملکرد برای هر واحد افزایش ECe بالاتر از آستانه به عنوان ضریب شیب شناخته می شود. در لیست زیر محصولات حساس و مقاوم به نمک ارائه شده:

محصولات حساس (مقدار ECe آستانه در پرانتز)

لوبیا (۱,۰)، هویج (۱,۰)، توت فرنگی (۱,۰)، پیاز (۱,۲)، بادام (۱,۵)، شاه توت (۱,۵)، آلو (۱,۵)، زردآلو (۱,۵)، پرتقال (۱,۷)، هلو (۱,۷)، آجیل زمینی (۱,۸)، و غیره.

محصولات نسبتاً متحمل (مقادیر آستانه ECe در پرانتز)

چغندر قرمز (٤,۰)، علف سخت (٤,٦)، کدو (٤,۷)، لوبیا چشم بلبلی (٤,۹)، سویا (۵,۰)، ترفویل پای پرنده (۵,۰)، چغندر چند ساله (۵,٦ گراس چاودار) ، گندم دوروم (۵,۷)، علوفه جو (٦,۰)، گندم (٦,۰)، سورگوم (٦,۸)، چغندر قند (۷,۰)، پنبه (۷,۷)، جو (۸,۰) و غیره.

محصولات متحمل به Cl:

چچم چند ساله، گندم دوروم، جو (علوفه)، گندم، سورگوم علف برمودا، چغندرقند، علف گندم، تاج خروس، پنبه، علف گندم بلند، جو و غیره.

حذف مکانیکی نمک

خراش دادن ساده ترین راه برای بازیابی خاک شور در مقیاس کوچک ا ست (شکل ۱۰,۸). در خاک های مناطق خ شک و نیمه خ شک که اغلب به دلیل تبخیر زیاد و ش سته شدن کم، پو سته نمکی در سطح خاک ایجاد می شود، از روش حذف مکانیکی نمک ها استفاده می شود. برداشتن لایه نمک، خاک زیرین با شوری نسبتا کم را در معرض دید قرار می دهد که عملکرد بهتری را به همراه دارد. اما، این فرآیند موفقیت محدودی دارد زیرا نمک‌ها تمایل دارند دوباره جمع شوند. این روش به مرور زمان مشکل را تشدید می کند زیرا سطح زمین از طریق خراش دادن به سطح آب زیرزمینی نزدیک تر میشود. خراش دادن نمک ها ر شد گیاه را فقط به طور موقت بهبود می بخشد. علاوه بر این، دفع نمک های خرا شیده یک م شکل ا ست. خراش دادن همچنین مستلزم هزینه کار بالایی است.

شستشوی افقی نمک ها

نمک‌های موجود در پو سته‌های سطحی خاک‌های با نفوذپذیری کم، گاهی با شستشو با آب روی سطح، شسته می‌شوند. برای شستشو، ابتدا مزرعه را آب می دهند تا نمک ها حل شوند. شستشوی خاک به ویژه در جایی امکان پذیر است که نمک های شسته شده با آبیاری یا آب باران در سیستم های زهکشی طبیعی مجاور مانند رودخانه ها دفع شوند. یک شیب رو به پایین کافی برای انتقال آب مورد نیاز است. بنابراین این روش در زمین های محصور در خشکی کاربردی نیست. در غیر این صورت ممکن است مناطق اطراف را آلوده کند. شستشوی نمک در ابتدا بسیار موثر است اما با کاهش غلظت نمک، راندمان آن کاهش می یابد. در این روش فقط سطح خاک تا حدودی اصلاح می شود، بقیه مشخصات خاک همچنان آلوده است. این روش همچنین از اهمیت عملی محدودی برخوردار است زیرا مقدار نمک هایی که می توان از خاک خارج کرد بسیار کم است و نمک ها دوباره روی سطح تجمع می یابند.

لیچینگ

حذف نمک های اضافی از زیر ناحیه ریشه و از طریق نیمرخ خاک با آب نفوذی به عنوان لیچینگ شناخته می شود. لیچینگ یک فرآیند طبیعی در خاک های دارای زهکشی خوب در مناطق مرطوب است. در مناطق خشک و نیمه خشک، آب باران کافی برای شسته شدن نمک های آزاد شده در اثر هوازدگی یا انباشته شده در اثر بالا آمدن مویرگی آب های زیرزمینی وجود ندارد. در صورتی که آب کافی در دسترس باشد، آبشویی از طریق آبیاری مفید است. در خاکهای شور مناطق مرطوب نفوذپذیری خاک معمولاً کم و سطح آب زیرزمینی بسیار بالا است. بنابراین برای حذف آب و املاح اضافی و پایین آوردن سطح آب زیرزمینی به زهکشی مصنوعی نیاز است. اما در مناطقی که دارای زهکشی طبیعی خوب هستند، نیازی به زهکشی مصنوعی برای شستشوی نمکها نیست. در آنجا مشکل بالا آمدن مویرگی آب زیرزمینی شور به سطح خاک به دلیل بارش کم و تبخیر زیاد است. شستشوی نمک ها در خاک های نفوذپذیر به بهترین وجه با ادغام آبیاری و زهکشی انجام می شود. در خاک‌های غیرقابل نفوذ، در صورتی که نفوذپذیری را بتوان با اصلاح کننده های آلی قبل از تلاش شستشو بهبود بخشید، شستشو می‌تواند کارآمد باشد. علاوه بر این، چندین عامل دیگر در موفقیت فرآیند لیچینگ نقش دارند. برخی از این عوامل عبارتند از:

- هدایت الکتریکی خاک (ECe) ،
- تعداد واحدهای ECe که باید کاهش یابد،
- مقدار آب مصرفی،
- سطح شوری آب آبیاری (ECw)،

- سیستم آبیاری
- بافت خاک
- تحمل به شوری محصول
- عمق ریشه ها و غیره.

با این حال، آبشویی تا حد زیادی موثرترین روش برای احیای خاک شور است. شستشو ترجیحا باید زمانی انجام شود که رطوبت خاک کم و سطح آب زیرزمینی عمیق باشد. غرقابی محصور روشی برای آبیاری است که در آن مزرعه با مرز خاکی احاطه می شود تا آب درون آن محصور شود. آبیاری غرقابی محصور را می توان برای شستشوی نمک ها از خاک های شور با شستشوی یکباره یا شستشوی متناوب استفاده کرد. قبل از غرقاب کردن، زمین را تسطیح می کنند تا آب به طور مساوی روی زمین شخم زده پخش شود تا نفوذ و نفوذ آسان شود. هنگامی که از روش حوض مداوم استفاده می شود، مزرعه با یک بار مصرف آب عمیقاً غرق می شود و به آب اجازه نفوذ داده می شود. در روش شستشوی متناوب، آب در فواصل زمانی مناسب به مقدار کم در چندین نوبت داده می شود. روش مداوم معمولاً در خاکهایی با نفوذپذیری بهتر استفاده می شود تا فرآیندهای نفوذ و آبشویی سریعتر انجام شود. به طور کلی، مقدار آب مورد نیاز برای این روش شستشو حدود یک سانتی متر برای بازیابی هر سانتی متر از نیمرخ خاک است. با این حال، مقدار آب مورد نیاز برای شستشو ممکن است به بافت خاک بستگی داشته باشد. روش متناوب در مناطق کم آب استفاده می شود. مقدار آب برای لیچینگ همچنین به سطح شوری آب آبیاری بستگی دارد. از آنجایی که آب با محتوای نمک کم همیشه در دسترس نیست، مطالعات نشان داده اند که آب های زیرزمینی شور نیز می توانند برای شستشو استفاده شوند، مشروط بر اینکه میزان آب مورد نیاز بیشتر باشد. برای بهبود نفوذپذیری و شکستن لایه های نفوذ ناپذیر و متراکم اقداماتی از جمله زیر شکن، سوراخ کاری مته و غیره وجود دارد. سوراخ کردن با ایجاد سوراخ هایی به قطر حدود ۱۰ سانتی متر تا عمق ۲,۵ متری و سپس پر کردن سوراخ ها با ماسه ممکن است سرعت شستشو را بهبود بخشد. استفاده از برخی مواد اصلاحی (ماسه، گچ، کودهای دامی) نیز می تواند برای تقویت آبشویی در خاک های غیرقابل نفوذ استفاده شود. عوامل زیر مقدار آب مورد نیاز برای احیای نمک از طریق شستشو را تعیین می کند:

- محتوای نمک خاک،
- سطح شوری برای دستیابی،
- عمقی احیا مورد نظر ،
- نوع محصول کشت شده و

- ویژگی های خاک.

یک قانون مفید این است که یک واحد عمق آب تقریباً ۸۰ درصد نمک ها را از عمق واحد خاک حذف می کند. بنابراین ۳۰ سانتی متر آبی که از خاک عبور می کند تقریباً ۸۰ در صد نمک های موجود در ۳۰ سانتی متر بالایی خاک را حذف می کند. برای شستشوی نمک های محلول در خاک های تحت آبیاری، آبی بیش از نیاز برای رفع نیازهای تبخیر و تعرق گیاهان باید از ناحیه ریشه عبور کند. این آب آبیاری اضافی معمولاً به عنوان نیاز آبشویی (LR) بیان می شود. نیاز آبشویی در ابتدا به عنوان بخشی از آب نفوذ شده تعریف شد که باید از ناحیه ریشه عبور کند تا شوری خاک از آستانه قابل تحمل در شرایط پایدار با مدیریت خوب فراتر نرود.

$$LR = \frac{EC_{iw}}{EC_{dw}},$$

که LR نیاز آبشویی است، ECiw هدایت الکتریکی آب آبیاری و ECdw هدایت الکتریکی آب زهکشی است. از طرف دیگر، نیاز لیچینگ را می توان از معادله زیر بدست آورد.

$$\frac{C_s}{C_i} = \frac{\ln(\mathrm{LR})}{\mathrm{LR}-1},$$

که در آن Cs غلظت نمک در خاک و Ci غلظت نمک در آب آبیاری است. این معادله مستقل از الگوی مصرف آب گیاه است، کاربرد کلی دارد و نویسندگان به این نتیجه رسیدند که این معادله روش بهتری برای تخمین نیاز های آبشویی ارائه می دهد. Ayers و Westcot (۱۹۸۵) نیز معادله زیر را به عنوان دستورالعملی برای محاسبه LR بر اساس شوری آب آبیاری و تحمل به نمک محصول ارائه کردند.

$$\mathrm{LR} = \frac{\mathrm{EC_w}}{5\mathrm{EC_e} - \mathrm{EC_w}},$$

که در آن ECw رسانایی الکتریکی آب آبیاری است. مقدار آب مورد نیاز را می توان از رابطه زیر محاسبه کرد:

$$\text{Amount of water to be applied} = \frac{\text{Consumptive use}}{1-\mathrm{LR}}$$

استفاده مصرفی شامل مقدار آب تعرق شده در طول رشد گیاه به علاوه آنچه از سطح خاک و شاخ و برگ در منطقه محصـول تبخیر می شـود. لازم به ذکر اسـت که یکنواختی توزیع آب در مزرعه و راندمان کاربرد میدانی در محاسبه فوق در نظر گرفته نشده است.

نمونه ای از محاسبه مقدار آب مورد نیاز برای شستشو در کادر ۱۰,۱ آورده شده است.

جعبه ۱۰,۱ محاسبه نیاز آبشویی

فرض کنید، می خواهید نمک ها را از خاکی که در آن یونجه رشد می کند، شستشو دهید. آستانه ECe برای یونجه ۲,۰ د سی زیمنس بر متر ا ست و ECw آب ش ست شو برابر 3.1 د سی زیمنس بر متر ا ست. نیاز لیچینگ چیست؟ اگر نیاز آبی برای یونجه در آن محل ۱۲۰ سانتی متر در هکتار باشد، مقدار آبی را که باید برای رفع نیاز محصول و نمک‌شویی استفاده شود محاسبه کنید.

راه حل:

$$LR = \frac{3.1}{5\times 2.0 - 3.1} = 0.45$$

بر حسـب درصـد بیان می شـود، به این معنی که ٤٥ درصـد از آب آبیاری باید از ناحیه ریشـه عبور کند تا آبشویی کافی فراهم شود.

$$\text{The amount of water needed} = \frac{120}{1-0.45} = 218 \ \text{cm ha}^{-1}$$

پاسخ:

LR= 0.45 و مقدار آب مورد نیاز ۲۱۸ سانتی متر در هکتار است. این مقدار شامل توزیع، انتقال، رواناب سطحی یا سایر تلفات نمی شود.

زه کشی

آب آبیاری نمک‌های خاک‌های شـــور را به فاز محلول می‌آورد و این نمک‌ها معمولاً به آب‌های زیرزمینی شسته می‌شوند یا می‌توانند توسط سیستم‌های زهکشی عمیق خارج شوند. یک سیستم زهکشی زیرسطحی موثر باید ساخته شود تا آب زیرزمینی مملو از نمک را حذف کند، سطح آب زیرزمینی را در عمق ایمن نگه دارد و از بالا آمدن سطح آب زیرزمینی در ناحیه ریشه یا نزدیک آن جلوگیری کند. در صورتی که شرایط خاک مانند بافت، تخلخل، نفوذپذیری، سطح شوری خاک، عمق سطح آب زیرزمینی و امکانات آبیاری، در

دسترس بودن آب آبیاری و غیره مناسب باشد، می‌توان از تمامی این سیستم‌ها برای احیای خاک‌های شور استفاده کرد.. به گفته سیوال و همکاران. (۲۰۰۹)، روش سنتی احیای شوری این است که مزرعه را با آب حوض کرده و نمک ها را از خاک توسط سیستم های زهکشی زیر سطحی سفالی خارج کرد. زهکشهای سفالی را می توان از خاک رس، بتن، پلاستیک و سایر مواد مصنوعی مانند پلی اتیلن با چگالی بالا و پلی وینیل کلراید ساخت. در حال حاضر از لوله های مصنوعی سوراخ دار به جای لوله های سفالی که در گذشته رایج بوده استفاده می شود. سوراخ لوله‌ها با ورقه‌های نازک پشم شیشه یا نایلون ریسی‌شده پوشانده می‌شوند تا از گرفتگی و جلوگیری از ورود خاک جلوگیری شود تا سیستم دوام زیادی داشته باشد. نصب سیستم زهکشی سفالی نسبتاً پرهزینه است و ممکن است در خاکهای با نفوذپذیری ضعیف چندان مؤثر نباشد. زهکش های حفره ای (mole drain) ممکن است برای زهکشی زیرسطحی خاک های رسی مناسب باشند، اما معمولاً برای احیای شوری خاک استفاده نمی شوند زیرا مول ها می توانند در خاک های با بافت درشت فرو بریزند.

مدیریت شوری در مناطق خشک

شوری اراضی خشک یک مشکل جدی در غرب استرالیا و در منطقه دشت بزرگ آمریکای شمالی است. این بیماری به طور گسترده در کانادا در منیتوبا، ساسکاچوان و آلبرتا و در ایالات متحده در ایالت های مونتانا، داکوتای شمالی و جنوبی رخ می دهد. شوری اراضی خشک در آفریقای جنوبی، ایران، افغانستان، تایلند و هند نیز یک مشکل است. این خاکها از نظر شوری از کمی شور تا شرایط شوری شدید متغیر هستند. شوری خاک در مناطقی که نسبت بارندگی به تبخیر پایینی دارند یک مشکل اساسی است. نمک های محلول آزاد شده توسط هوازدگی شیمیایی به دلیل کمبود آب قابل شستشو نیستند. تراوش‌های شور اغلب در مکان‌هایی ایجاد می‌شوند که مناطق بالادست دارای خاک‌هایی با بافت سبک با حفظ رطوبت کم و نفوذپذیری بالا اما با لایه‌ای غیرقابل نفوذ زیرین هستند. نشت آب شور در مناطق پایینی از چشم‌انداز رخ می‌دهد. راه‌حل‌های بلندمدت برای مشکل نشت‌های شور باید شامل تغییرات کاربری زمین با هدف اصلاح وضعیت هیدرولوژیکی باشد. علاوه بر این، برای بازگرداندن بهره‌وری زمین‌های آسیب‌دیده از نمک، به درمان‌های ویژه سایت نیاز است. اقدامات مدیریتی برای تراوش های نمکی باید با هدف افزایش مصرف آب در مناطق بالادست برای کاهش تراوش آب اضافی باشد. این را می توان با (۱) کشت فشرده برای افزایش مصرف آب در منطقه تغذیه، (۲) رشد گیاهان چند ساله ریشه دار عمیق که آب را از اعماق بیشتر خاک جذب می کند، (iii) زهکشی در منطقه تغذیه، و (iv) کشت محصولات متحمل به نمک در منطقه تراوش به دست آورد.

احیاء و مدیریت خاکهای سدیک

چندین رویکرد مختلف از جمله اصلاحات شیمیایی، عملیات خاک‌ورزی، شیوه‌های مدیریت محصول، دستکاری‌های هیدرولوژیکی، و جریان‌های الکتریکی برای بهبود خاک‌های سدیمی و نمکی-سدیکی مورد استفاده قرار گرفته‌اند (قدیر و همکاران ۲۰۰۷). تعدادی از گزینه های خاک ورزی، مانند شخم عمیق و زیرشکن خاک نیز برای شکستن کفه های کم عمق، متراکم رسی سدیم و یا افق های ناتریک که در ۰,٤ متر از سطح خاک رخ می دهد، استفاده شده است (Abdelgawad et al. 2004). مدیریت خاکهای سدیمی نیز مستلزم شستشو از طریق آبیاری و زهکشی است، اما قبل از شستشو، سدیم قابل تعویض اضافی باید با مقداری کاتیون مناسب (Ca2+) جایگزین شود تا ESP در کنار رشد محصولات مناسب به سطح مطلوب کاهش یابد. برای جایگزینی سدیم نیاز به ماده ای است که حاوی کلسیم باشد یا پس از اعمال در خاک یون های کلسیم تولید کند. شرح مختصری از روشهای مرسوم احیاء در زیر آورده شده است.

انتخاب محصول برای خاک های سدیک

از مقالات کلاسیک زراعت مشخص شده که تنوع زیادی در تحمل محصولات به سدیمی بودن خاک وجود دارد: برنج (Oryza sativa) و دهینچا (Sesbania aculeata) به نظر می‌رسد متحمل هستند، گندم (Triticum aestivum) و باجرا (Pennisetum typhoideum) نسبتاً متحمل هستند و محصولات حبوبات مانند ماش (Phaseolus mungo) و عدس (Lens culinaris) نسبتاً به سدیم قابل تعویض اضافی حساس هستند. لیستی از گیاهانی که درجاتی از تحمل به سدیم و بور اضافی (معمولاً در خاکهای سدیمی بالا) دارند در زیر آورده شده است:

محصولات متحمل به سدیم قابل تبادل بالا: چمن کارنال (Diplachne fusca)، علف رودس (Chloris gayana)، علف پارا (Brachiaria mutica)، علف برمودا (Cynodon dactylon)، برنج (Oryza sativa)، دهینچا (Sesbania aculeata) و چغندر قند (*Beta vulgaris*).

محصولات نیمه متحمل نسبت به سدیم قابل تعویض بالا: گندم (Triticum aestivum)، جو (Hordeum vulgare)، جو (Avena sativa)، رایا (Brassica juncea)، سنجی (Melilotus parviflora)، باجرا (Pennisetum typhoides)، پنبه (Gossyum) برسیم (Trifolium alexandrinum)، نیشکر (Saccharum officinarum).

محصولات با تحمل متوسط به بور: کلم (Brassica oleracea capitata)، شلغم (B. rapa)، بلوگراس کنتاکی (Poa pratensis)، جو (Hordeum vulgare)، لوبیا چشم بلبلی (Vigna unguiculata)، جو (Avena sativa)، ذرت (Zaea) کنگر فرنگی (Cynara scolymus)، تنباکو (Nicotiana tabacum)، خردل (Brassica juncea)، شبدر، شیرین (Melilotus indica)، کدو حلوایی (Cucurbita pepo)، خربزه (Cucumis melo)، و گل کلم (B. oleracea botrytis).

محصولات متحمل به بور: یونجه (Medicago sativa)، ماشک ارغوانی (Vicia benghalensis)، جعفری (Petroselinum crispum)، چغندر قرمز (Beta vulgaris)، چغندرقند (B. vulgaris) و گوجه فرنگی (Lycopersicon lycopersicum).

محصولات بسیار متحمل به بور: (مقدار آستانه میلی گرم در لیتر در پرانتز آورده شده است)، سورگوم (Sorghum bicolor) (۷,٤)، پنبه (Gossypium hirsutum) (۱۰,۰-٦,۰)، کرفس (Apium graveolens) (۹,۸)، و مارچوبه (*Asparagus officinalis*) (۱۵-۱۰).

فهرستی از گونه‌های گیاهی در دسترس تجاری متحمل به خاک‌های شور-سدیک در زیر بر اساس داده‌های USDA-NRCS (۲۰۱۰) تهیه شده است.

تحمل بسیار زیاد: چاودار وحشی، علف گندم بلند، آلتای ویلدرای، علف گندم هیبریدی، علف گندم باریک و چاودار وحشی روسی با تحمل بسیار بالا.

تحمل زیاد: فسکوی بلند، علف گندم غربی، علف گندم کاکل دار، تاج خروش، علف گندم استاندارد، علف گندم سیبری، کوچیا علوفه ای و توت فرنگی.

نسبتاً متحمل: دم روباهی خزنده، برم علفی، برم صاف، علف گندم نابالغ، علف گندم متوسط، علف گندم سنبله ضخیم، شبدر شیرین زرد و شیرماسه سیسر.

اصلاح کننده های خاک های سدیک

چندین اصلاح کننده شیمیایی به طور گسترده برای احیای خاکهای سدیم استفاده شده است. متداول ترین اصلاح کنندها شامل (i) ترکیبات کلسیم محلول مانند گچ و کلرید کلسیم که حاوی یون های Ca^{2+} هستند، (ii) اسید سولفوریک، و (iii) موادی که اسید سولفوریک تولید می کنند مانند گوگرد عنصری، پیریت، سولفات آهن و سولفات آلومینیوم. اسید سولفوریک که تشکیل می شود با کربنات کلسیم نامحلول که

معمولاً در خاک های سـدیمی یافت می شـود واکنش می دهد و یون های Ca2+ محلول را آزاد می کند. واکنش اصلاح کننده های مختلف و مکانیسم عمل آنها در زیر نشان داده شده است.

گچ

گچ هم با Na2CO3 و هم با سدیم جذب شده به صورت زیر واکنش می دهد:

$$Na_2CO_3 + CaSO4 = CaCO_3 + Na_2SO_4\,(\text{leachable})$$
$$Na-Clay-Na + CaSO_4 = Ca-Clay + Na_2SO_4\,(\text{leachable})$$

کلرید کلسیم

کلرید کلسیم (CaCl2.2H2O) یک نمک بسیار محلول است که به طور مستقیم کلسیم محلول را تامین می کند. واکنش های آن در خاک سدیم مشابه واکنش های گچ است.

$$Na_2CO_3 + CaCl_2 = CaCO_3 + 2NaCl\,(\text{leachable})$$
$$Na-Clay-Na + CaCl = Ca-Clay + 2NaCl\,(\text{leachable})$$

اسید سولفوریک

با استفاده از اسید سولفوریک (H2SO4) در خاک های حاوی کربنات کلسیم، بلافاصله واکنش نشان می دهد و سولفات کلسیم تشکیل می دهد و بنابراین به طور غیر مستقیم کلسیم محلول را فراهم می کند.

$$Na_2CO_3 + H_2SO_4 = CO_2 + H_2O + Na_2SO_4\,(\text{leachable})$$
$$CaCO_3 + H_2SO_4 = CaSO_4 + H_2O + CO_2$$
$$Na-Clay-Na + CaSO_4 = Ca-Clay + Na_2SO_4\,(\text{leachable})$$

سولفات آهن و سولفات آلومینیوم

هر دو سولفات آهن (FeSO4.7H2O) و سولفات آلومینیوم [Al2(SO4)3.18H2O] مواد دانه ای جامد محلول در آب هسـتند. هنگامی که این ترکیبات روی خاک اعمال می شـوند، هیدرولیز می شـوند و اسـید سولفوریک تشکیل می دهند.

$$FeSO_4 + 2H_2O = H_2SO_4 + Fe(OH)_2$$

$$H_2SO_4 + CaCO_3 = CaSO_4 + H_2O + CO_2$$

$$Na - Clay - Na + CaSO_4 = Ca - Clay + Na_2SO_4\,(\text{leachable})$$

سولفات آلومینیوم نیز به همین ترتیب عمل می کند.

گوگرد

گوگرد (S) در آب محلول نیست و به طور مستقیم کلسیم را برای جایگزینی سدیم جذب شده تامین نمی کند. هنگامی که گوگرد به خاک اعمال می شود، تحت اکسیداسیون قرار می گیرد و اسید سولفوریک تشکیل می دهد و واکنش هایی مانند شکل زیر نشان می دهد:

$$2S + 3O_2 = 2SO_3$$

$$SO_3 + H_2O = H_2SO_4\,(\text{Sulfuric acid performs as above})$$

پیریت

پیریت (FeS2) یکی دیگر از ا صلاح کننده های احتمالی برای احیای خاک های سدیم ا ست. مجموعه ای از واکنش های زیر پس از اعمال پیریت به خاک رخ می دهد:

$$\text{Step I.}\,2FeS_2 + 2H_2O + 7O_2 = 2FeSO_4 + 2H_2SO_4$$

$$\text{Step II.}\,4FeSO_4 + O_2 + 2H_2SO_4 = 2Fe_2(SO_4)_3 + 2H_2O$$

$$\text{Step III.}\,Fe_2(SO_4)_3 + FeS_2 = 3FeSO_4 + 2S$$

$$\text{Step IV.}\,2S + 3O_2 + 2H_2O = 2H_2SO_4\,(\text{Sulfuric acid performs as above})$$

انتخاب ا صلاح کننده ب ستگی به (الف) اثربخ شی ن سبی دارد که از روی بهبود خ صو صیات خاک و ر شد محصول ارزیابی می‌شود، (ب) هزینه‌های نسبی مربوطه، (ج) خطر جابجایی مواد، و (د) زمان مورد نیاز برای انجام واکنش جایگزینی موثر سدیم دارد. ا سید سولفوریک بلافا صله با کربنات کل سیم خاک واکنش داده و کلسیم محلول را برای تبادل با سدیم آزاد می کند. گوگرد عنصری باید توسط باکتری های خاک اکسید شود و با آب واکنش داده و اسید سولفوریک تشکیل دهد. تشکیل مقادیر قابل توجهی اسید سولفوریک از گوگرد عن صری ممکن ا ست چند ماه تا چند سال طول بک شد. گوگرد، ا سید سولفوریک، سولفات آهن و سولفات آلومینیوم تامین کننده کلسیم نیستند. آنها فقط زمانی برای احیا مفید هستند که

خاک حاوی آهک باشـــد. زمانی که خاک مورد بازیابی حاوی آهک کافی نباشـــد، باید از گچ یا مواد حاوی کلسیم ا ستفاده شود. سولفات های آهن و آلومینیوم معمولاً بسیار پرهزینه هستند و در گذ شته برای بهبود مقیاس بزرگ خاک های سدیم استفاده نشده اند. از آنجایی که مواد اصلاح کننده مانند گوگرد و پیریت ابتدا باید در خاک اکسید شوند و به اسید سولفوریک تبدیل شوند، این اصلاحات نسبتا کند عمل می کنند. گچ به عنوان ارزان‌ترین و فراوان‌ترین اصلاح کننده موجود، پرکاربردترین است.

اخیراً محصـــولات زراعی، بقایای گیاهی یا پســـاب های صـــنعتی و پلیمرهای مصـــنوعی در مطالعات کارایی گنجانده شده اند (Hanay et al. 2004). گچ، همانطور که در بالا ذکر شد، به دلیل در د سترس بودن و هزینه کم، متداول ترین ماده اصـــلاحی مورد اســـتفاده اســـت (یواخیم و همکاران ۲۰۰۷)، اما واکنش آن کند است. با این حال، بازده آن را می توان در صورت اعمال مواد دیگر با توجه به نیاز گچ خاک افزایش داد. به گفته باروس و همکاران. (۲۰۰٤)، اســـتفاده از گچ و مخلوطی از گچ و ســـنگ آهک برای مبارزه با ســـدیمی بودن خاک کارآمدتر بود. آگار (۲۰۱۱) از پلی فسفوژیپسوم (PG) به عنوان اصلاح کننده برای بازیابی خاک های شور و سدیم در ترکیه ا ستفاده کرد. او در مجموع ۷,۵ و ۱۵,۰ تن PG در هکتار در دوزهای تق سیم شده به قطعات مزرعه ۱۰۰ متر مربع در سه سال متوالی اضافه کرد. نتایج نشان داد که فرآیند کشت و ریشه گیاه در بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک نقش داشته است. کاربرد ۷,۵ و ۱۵,۰ تن PG در هکتار در دوزهای منقسم به ترتیب باعث بهبود خاک ۱۰ و ۸ برابر بیشتر از تیمارهای گچ شد.

مقدار اصلاح کننده

مقدار یک اصلاح کننده برای احیای خاک سدیم بستگی به مقدار سدیم قابل تعویضی دارد که باید جایگزین شود. این همچنین به بافت خاک و ترکیب کانی شنا سی، در صد سدیم قابل تعویض (ESP) و محصولاتی که باید کشت شوند بستگی دارد. تحمل نسبی یک محصول به سدیم قابل تعویض و عمق طبیعی ریشه‌زایی آن تا حد زیادی عمقی که ســـدیم اضـــافی جذب‌شـــده باید برای رشـــد رضـــایت‌بخش جایگزین شـــود تعیین میکند. جایگزینی هر مول ســـدیم جذب شـــده در هر ۱۰۰ گرم خاک به نیم مول کلســـیم محلول نیاز دارد. مقدار گچ خالص مورد نیاز برای تامین نیم سانتی مول کلسیم به ازای هر کیلوگرم خاک برای عمق بالای ۱۵ سانتی متر خاک برابر ۱,۹۲ تن در هکتار است که یک سانتی مول سدیم را خارج می کند.

$$\frac{\text{molecular weight of gypsum}}{200} = \frac{172}{200} = 0.86 \text{ g kg}^{-1} \text{ soil}$$
$$= 86 \times 10^{-5} \text{ kg kg}^{-1} \text{soil}$$
$$= 86 \times 10^{-5} \times 2.24 \times 10^{6} \text{ kg ha}^{-1}$$
$$= 1926 \text{ kg or } 1.96 \text{ t ha}^{-1}$$

نیم سانتی‌مول کلسیم برابر ۰٫۲ گرم است و هر مول گچ ۴۰ گرم کلسیم دارد. عدد ۲۰۰ از طریق تناسب بستن و تقسیم ۴۰ به ۰٫۲ بدست آمده است.

در صورت تمایل به جایگزینی مقادیر بیشتری از سدیم جذب شده، می توان مقدار گچ را بر این اساس افزایش داد. مقادیر معادل برخی از اصلاحات برای خاکهای سدیم در جدول ۱۰٫۱۰ آورده شده است.

Amendment	Relative quantity[a]
Gypsum ($CaSO_4$ $2H_2O$)	1.00
Calcium chloride ($CaCl_2$ 2 H_2O)	0.85
Sulphuric acid (H_2SO_4)	0.57
Iron sulphate ($FeSO_4$.7 H_2O)	1.62
Aluminium sulfate (Al_2 $(SO_4)_3$.18 H_2O)	1.29
Sulphur (S)	0.19
Pyrite (FeS_2) – 30% sulphur	0.63
Calcium polysulfide (CaS_5) – 24% sulfur	0.77

[a]These quantities are based on 100 percent pure materials. If the material is not 100 percent pure, necessary correction must be made. Thus, if gypsum is only 80 percent pure. 1.0 × (100÷80) = 1.25, the quantity to be added will be 1.25 ton instead of 1.00 ton.

نیاز گچی

مقدار گچ مورد نیاز برای بازیابی خاک سدیم را نیاز گچ (GR) می نامند. آزمایش GR با مخلوط کردن یک نمونه خاک کوچک (۵ گرم) با حجم نسبتاً زیادی از محلول گچ اشباع و اندازه گیری کلسیم از دست رفته از محلول پس از واکنش با خاک انجام می شود. کاهش کلسیم از محلول را می توان بر اساس تن $CaSO_4.2H_2O$ در هر هکتار خاک بیان کرد. بسیاری از خاک های سدیم حاوی مقادیر قابل توجهی کربنات سدیم محلول علاوه بر سدیم قابل تعویض اضافی هستند. در چنین مواردی، آزمایش نیاز گچ، مقدار کلسیم

مورد نیاز برای جایگزینی سدیم قابل تعویض به اضافه مقدار مورد نیاز برای خنثی کردن تمام کربنات سدیم محلول در خاک را ارزیابی می کند. گچ معمولاً روی سطح خاک اعمال می شود و شسته می شود، تنها بخش کوچکی از کربنات های محلول با کلسیم اعمال شده واکنش می دهد و بخش عمده ای از کربنات های محلول بدون واکنش با گچ اعمال شده شسته می شود. افزودن گچ اضافی برای خنثی کردن کربنات های محلول ضروری به نظر نمی رسد. نیاز گچ را می توان با فرمول زیر نیز محاسبه کرد.

$$GR = (\text{present ESP} - \text{desired ESP}) \times CEC \times 0.021$$

واحد CEC بر حسب meq/100 گرم یا cmol (+شارژ) بر کیلوگرم خاک است.

سدیم در پروفایل شسته شدن خاک سدیمی پس از اصلاح به آب بیشتری نسبت به خاک شور نیاز دارد زیرا (i) مواد شیمیایی به جز اسید سولفوریک و کلرید کلسیم کمتر از نمکهای موجود در خاک حل می شوند و (ii) خاکهای سدیم معمولاً نفوذپذیری کمتری نسبت به خاکهای شور دارند. اصلاح خاکهای سدیک و نمکی- سدیکی با محتوای رس بالا، به ویژه در جایی که مونتموریلونیت کانی رسی غالب است، از نظر فنی دشوار و گران است. هنگامی که آب برای شستشو استفاده می شود، خاک رس به سرعت متورم می شود و منافذ ماکرو را که مسیرهای زهکشی اولیه را فراهم می کنند، از بین می برد. رسانایی هیدرولیکی خاک کاملاً اشباع معمولاً بسیار کم است و نمی توان زهکشی در فاصله اقتصادی ایجاد کرد.

پس از جمع آوری گچ از رسوبات طبیعی، آن را برای استفاده در مزارع به خوبی آسیاب می کنند. اعتقاد بر این است که هر چه ذرات گچ ریزتر باشد، برای احیای خاکهای سدیمی مؤثرتر است. تیمار خاک با گچ بسیار ریز آسیاب شده منجر به هدایت هیدرولیکی اولیه بالایی می شود که با گذشت زمان به شدت کاهش می یابد. اما تیمار با گچ مش ۲ میلی متری به حفظ نفوذپذیری در سطح بالاتر و برای مدت طولانی کمک کرد. نتایج آنها نشان داد که حلالیت بیشتر ذرات ریزتر باعث واکنش آنها با کربنات سدیم آزاد شده و به دلیل تشکیل کربنات کلسیم نامحلول، کلسیم محلول را غیرفعال می کند.

اصلاحات ارگانیک

قبلاً ذکر شد که از برخی اصلاح‌کننده‌های آلی برای احیای خاک‌های سدیمی و نمکی- سدیکی استفاده می‌شود. به عنوان مثال، پراپاگار و همکاران. (۲۰۱۲) مشاهده کردند که افزودن مواد آلی به خاک توسط کشاورزان پذیرفته شده است. اغلب اصلاح کننده های ارگانیک علاوه بر گچ استفاده می شود. کاربرد ۱۰ تن در هکتار کود دامی در ترکیب با اصلاح کننده های شیمیایی خواص فیزیکی خاک مانند چگالی ظاهری،

تخلخل، نسبت فضای خالی، نفوذپذیری آب و هدایت هیدرولیکی و عملکرد برنج و گندم در خاک سدیم را بهبود بخشید سایر مواد آلی مانند کاه برنج، کاه گندم و پوسته برنج نیز این خواص فیزیکی خاک سدیم شور را بهبود بخشیدند.

گل فیلتر

پرسماد که به عنوان کیک فیلتر یا گل فیلتر نیز شناخته می شود، در کارخانه های قند از طریق ته نشینی مواد معلق مانند فیبر، شکر، موم، خاکستر، خاک و سایر ذرات از آب نیشکر تولید می شود (محمد و ختاک ۲۰۰۹). از آن به عنوان یک بهبود دهنده در خاک های سدیمی و نمکی-سدیکی استفاده شده است (Barry et al. 2001). پرس ماد حاوی مقدار قابل توجهی سولفات است که به روش سولفیداسیون استخراج می شود و کیک پرس ماد سولفیداسیون نامیده می شود. پرس ماد که حاوی مقدار زیادی کربنات است به روش کربناته سازی استخراج می شود و به کیک پرس ماد گازدار معروف است. پرس ماد معمولاً حاوی حدود ۷۰ درصد آهک، ۱۵ تا ۲۰ درصد مواد آلی و ۲ تا ۳ درصد شکر است (خاتک و خان ۲۰۰٤). ماده آلی بسیار محلول است و به آسانی برای فعالیت میکروبی و بنابراین در خاک در دسترس است (Rangaraj et al. 2007). دی اکسید کربن تولید شده از طریق فعالیت میکروبی ممکن است حلالیت آهک و در نتیجه اثربخشی آن را در بازیابی خاک های شور-سدیکی افزایش دهد (قدیر و همکاران ۲۰۰٦). برخی از محققین افزایش عملکرد محصولات مختلف از جمله ذرت و ارزن و بهبود شرایط فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک را با کاربردهای پرسماد مشاهده کرده اند .

گیاه پالایی خاکهای سدیک

اصلاح خاکهای شور، شور- سدیک، سدیمی و آهکی را می توان با استفاده از برخی گیاهان، محصولات زراعی یا سیستم های زراعی انجام داد. این به عنوان گیاه پالایی شناخته می شود. کاهش کلی ESP تحت تیمار گیاه پالایی ممکن است حتی بیشتر از آن چیزی باشد که با گچ به دست می آید.مکانیسم عمل گیاهان زراعی شامل عمل فیزیکی ریشه ها برای اصلاح خاکدانه ها، تخلخل و نفوذپذیری خاک، تنفس ریشه و تولید CO2، افزایش پروتون در ناحیه ریشه، تولید H2CO3 و انحلال CaCO3 بومی است که یون های Ca2 را آزاد می کند که جایگزین Na+ در سطوح رسی می شود. سینتیک انحلال و رسوب کلسیت توسط شیمی سیستم تعیین می شود. یک واکنش معمولی برای انحلال کلسیت ممکن است به عنوان تابعی از CO2 در ناحیه ریشه بیان شود:

$$CaCO_3 + CO_2 + H_2O \Leftrightarrow Ca^{2+} + 2HCO_3^-$$

این واکنش حاصل سه فرآیند است که همزمان اتفاق می‌افتد: (۱) تبدیل CO2 در محلول خاک به H2CO3 و واکنش آن با CaCO3 (۲) تفکیک H2CO3 به H+ و HCO3- و واکنش H + با CaCO3 (۳) انحلال CaCO3 که منجر به Ca2 + و CO3 2- می شود.

$$CaCO_3 + H_2CO_3 \Leftrightarrow Ca^{2+} + 2HCO_3^-$$

$$CaCO_3 + H^+ \Leftrightarrow Ca^{2+} + HCO_3^-$$

$$CaCO_3 + H_2O \Leftrightarrow Ca^{2+} + CO_3^{2-} + H_2O$$

در صورتی که بتوان شستشوی کافی را فراهم کرد، بهبود با تمام این فرآیندها صورت می گیرد. از آنجایی که گیاه پالایی منطقه ریشه را بهبود می بخشد، محصولات متناوب با ریشه دوانی متفاوت باید در توالی محصول گنجانده شوند. محصولات با ریشه عمیق از نظر عمق بیشتر بهبود خاک دارای مزایایی هستند. به عنوان مثال، ریشه یونجه می تواند تا عمق ۱,۲ متری در خاک نفوذ کند.

مدیریت خاکهای سالین سدیک آهکی

در خاک‌های آهکی شور و سدیمی (خاک‌هایی که با افزودن هیدروکلراید رقیق جوشان می شوند)، کربنات کلسیم آزاد می‌تواند سهم کمی در جایگزینی یون‌های Na + داشته باشد زیرا کربنات کلسیم در آب نامحلول است. به جای تامین یون‌های Ca2+ با افزودن گچ، کربنات کلسیم بومی در این خاک‌ها را می‌توان حل کرد تا یون‌های Ca2+ محلول آزاد شود که جایگزین Na+ قابل تعویض می‌شوند. این را می توان با (۱) افزودن اسید سولفوریک یا گوگرد و (ب) تولید بیولوژیکی اسید کربنیک از طریق تنفس ریشه و میکروبی به دست آورد. مح صولات واکنش CaCO3 و ا سید سولفوریک عبارتند از CO2، H2O، SO4 2- و Ca2+. یون های Ca2+ جایگزین Na+ قابل تعویض می شوند، ESP را کاهش می دهند و به عنوان یک لخته کننده عمل می کنند. هر اسیدی می تواند CaCO3 خاک را حل کرده و کلسیم نامحلول را آزاد کند. اسید سولفوریک بیشتر رایج است زیرا نسبتاً ارزان است و نمک کمتری به خاک اضافه می کند. گوگرد عنصری توسط باکتری های اکسید کننده گوگرد به اسید سولفوریک تبدیل می شود و اثری مشابه اسید سولفوریک ایجاد می کند. با این حال، تبدیل گوگرد یک فرآیند بیولوژیکی است و بر خلاف اسیدها که فوراً واکنش نشان می‌دهند، چندین هفته تا چند ماه طول می‌کشد.

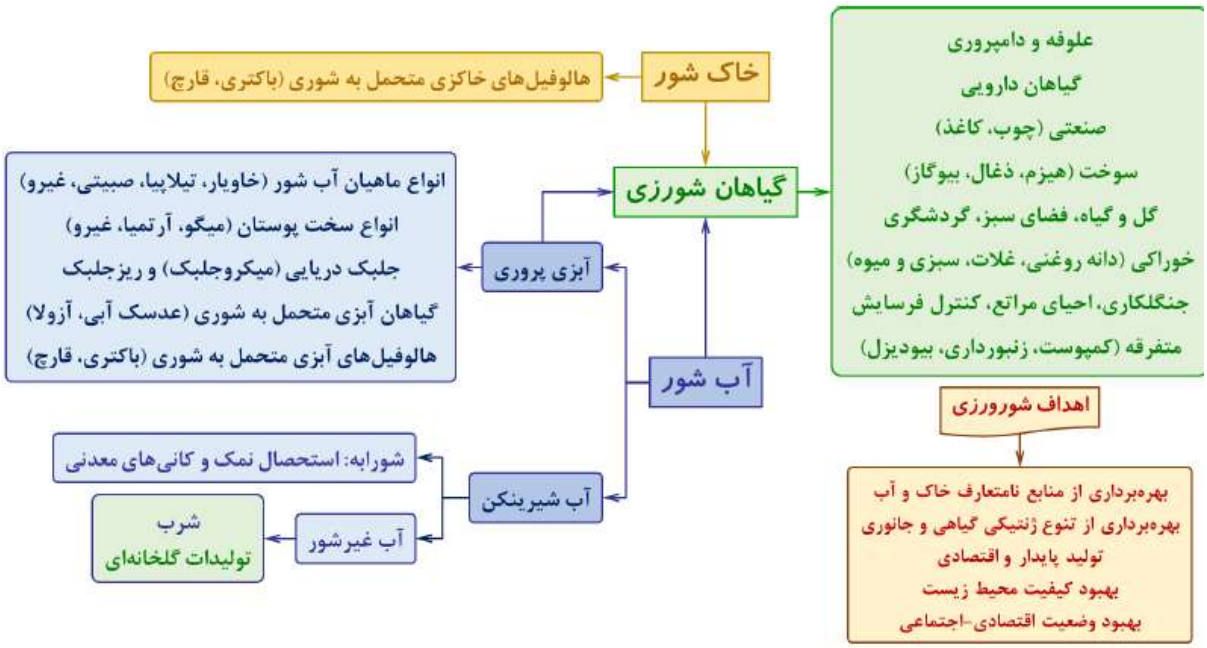
شورورزی Haloculture

آبشویی متداولترین راهکار برای کنترل املاح در محیط ریشه است. آبشویی در صورت وجود آب کافی و با کیفیت مناسب در مناطق خشک و نیمهخشک میتواند از نظر فنی انجامپذیر و مؤثر باشد. لیکن، از حیث اقتصادی و ارزش آب، انجام آبشویی به سادگی قابل توجیه نمیباشد. تحت شرایط خشکسالیهای اخیر و کاهش منابع آب شیرین کشاورزی در کشور، این امکان زیاد است که کشاورزان نتوانند به دلایل مختلف، زمینهای مبتلا به شوری خود را به خوبی اصلاح کرده، و به کشت و کار رایج خود ادامه دهند. این دلایل شامل عدم وجود مقادیر کافی از آب با کیفیت مناسب برای آبشویی و اصلاح خاک، شوری بالای خاک و آب کشاورزی به طور همزمان در مزرعه یا باغ، و عدم توجیه اقتصادی اصلاح زمینهای مبتلا به شوری با توجه به هزینههای اصلاح خاک و آب و ارزش محصول تولید شده در بازار، میباشند. اراضی مبتلا به شوری و منابع مختلف آب شور دارای قابلیتهای تولید و بهرهبرداریهای اقتصادی هستند. ولیکن، قابلیتهای تولید در شرایط شور با یکدیگر یکسان نبوده و متناسب با شرایط محیطی و خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک، تغییر میکنند. بنابراین، ارائه فناوری و راهکاری عملی، اقتصادی و منطقی برای بهبود شرایط و بهرهبرداری پایدار از منابع آب و خاک شور موجود برای کشاورزان و تولیدکنندگان کشاورزی امری ضروری است. در چنین شرایطی شورورزی رویکردی جدید جهت بهرهبرداری منطقی، سودمند، پایدار و مبتنی بر توانمندیها و ظرفیتهای محلی، از منابع آب و خاک شور میباشد. در صورتی که اصلاح زمین شور از حیث عملیاتی و اقتصادی امکانپذیر و مقرون به صرفه نباشد، شورورزی میتواند امکان بهرهبرداری اقتصادی از زمین و منابع آب شور را برای کشاورزان فراهم سازد.

اصول شورورزی

شورورزی به طور کلی، کشاورزی پایدار در محیطهای شور است، بدین معنی که شورورزی یک فناوری با رویکرد زیست محیطی، و به منظور بهرهبرداری اقتصادی و پایدار از منابع خاک و آب شور میباشد. لذا، شورورزی را میتوان چنین تعریف کرد: تولید پایدار و اقتصادی محصولات کشاورزی در محیطهای شور. محصولات کشاورزی شامل انواع محصولات گیاهی (زراعی، باغی، جنگلی، مرتعی، صنعتی، زینتی و دارویی)، جانوری (انواع دامهای سبک و سنگین، طیور، زنبور و کلیه فرآوردههای آنها) و آبزیان (ماهی، میگو، آرتمیا، جلبک، و غیرو)، میباشند. منظور از محیطهای شور خاک و آب شور، و همچنین، اکوسیستمهای شور (شوربومها) است. شمایی کلی از شورورزی در شکل ۱ ارائه شده است. لازم به ذکر است که منظور از پایدار، آن تولیدی است که هم اقتصادی باشد (سودآوری ادامه دار به ویژه در دراز

مدت)، هم با محیط زیست سازگار بوده (برای مثال، عدم تخریب و آلودگی منابع آب شیرین، احیای اراضی مخروبه، غیرو) و هم از نظر اجتماعی در جامعه مقبول با شد (برای مثال، ا شتغالزایی، تولید مح صول پاک و سالم، و غیرو). این سه هدف عالیه، در بسیاری از مواقع قابل دستیابی بوده و صرفاً رویاپردازی نیستند.



شکل ۱- اصول کلی، اهداف و تولیدات کشاورزی و صنعتی در شورورزی.

تذکر: بهره برداری اقتصـــادی از منابع خاک و آب شـــور به منظور تولید گیاهان شـــورزی و آبزی پروری هنگامی توصیه میگردد که امکان اجرای کشاورزی رایج از حیث عملیاتی و یا اقتصادی امکانپذیر نباشد. این بدان معنی ا ست که شورورزی به هیچ عنوان رقیبی برای کشاورزی رایج نمی با شد، زیرا از منابعی ا ستفاده میکند که قابلیت استفاده اقتصادی و پایدار را در نظامهای کشاورزی رایج ندارند. شورورزی با بهره برداری پایدار از منابع آب و خاک شور، و ایجاد ا شتغال و بهبود و ضعیت اقت صادی در مناطق مبتلا به شوری، در حقیقت مکملی برای کشاورزی رایج در عرصه های شور، اهداف توسعه بخش کشاورزی و بهبود وضعیت معیشتی کشاورزان است.

تولید محصولات گیاهی در شورورزی

شـــورورزی امکان بهره برداری اقتصـــادی از منابع خاک و آب شـــوری را که دیگر در کشـــاورزی رایج برای تولید اقت صادی مح صولات زراعی و باغی مر سوم کاربردی ندارند، امکانپذیر میسازد. از موارد مهم م صرف آبهای بســیار شــور، آبیاری گیاهان شــورزی در زمینهای شــور میباشــد. در واقع، گیاهان شــورزی به عنوان محصولات زراعی جدید و سودآور در شورورزی مطرح میباشند. در سه حالت از گیاهان شورزی و متحمل

به شوری میتوان بهرهبرداری کرد: (الف) مزارعی که در اثر آبیاری نامناسب مبتلا به شوری و در نتیجه، عدم امکان کشت اقتصادی محصولات زراعی و باغی رایج شده اند، (ب) آن دسته از اراضی که بر روی سفره های آب زیرزمینی شور قرار دارند و (ج) اراضی ساحلی در نزدیکی دریاهای شور و اقیانوسها. کشت گیاهان شورزی به عنوان یک محصول زراعی هنگامی توصیه میشود که امکان کشت محصولات زراعی و باغی مرسوم از نظر عملیاتی و یا اقتصادی امکانپذیر نباشد. در چنین شرایطی گیاهان شورزی با کاربردهای متنوع اقتصادی، با حداقل نهاده و با استفاده از آب شور عملکرد بالایی دارند.

گیاهان شورزی

گیاهان شورزی (یا هالوفیت، شورپسند، نمک دوست) از نظر علم گیاهشناسی، گیاهانی هستند که میتوانند چرخه حیات خود را در غلظتهای بالای کلرید سدیم (۲۰۰ – ۱۰۰ میلیمول تقریباً برابر ۲۰ – ۱۰ دسیزیمنس بر متر) کامل نمایند. به عبارت ساده تر، شورزیها گیاهانی هستند که به طور طبیعی در اراضی شور رشد کرده و چرخه حیات خود را تکمیل مینمایند. این گیاهان طیف وسیعی از گونه های علفی، بوته ای، درختچه ای و درختی را در بر گرفته، و در انواع محیطها، از باطلاقهای ساحلی گرفته تا بیابانهای شوره زار، رشد مینمایند. جامعه گیاهان شورزی ایران از جمله غنی ترین فلورهای گیاهی شورزی در سطح منطقه و جهان میباشد. محققین تعداد گونه های شورزی شناسایی شده ایران را حداقل ۳٦۵ گونه، که متعلق به ۱۵۱ جنس و ٤٤ خانواده هستند، بر شمرده اند، که ۳۰ گونه آن بومی و خاص ایران است.