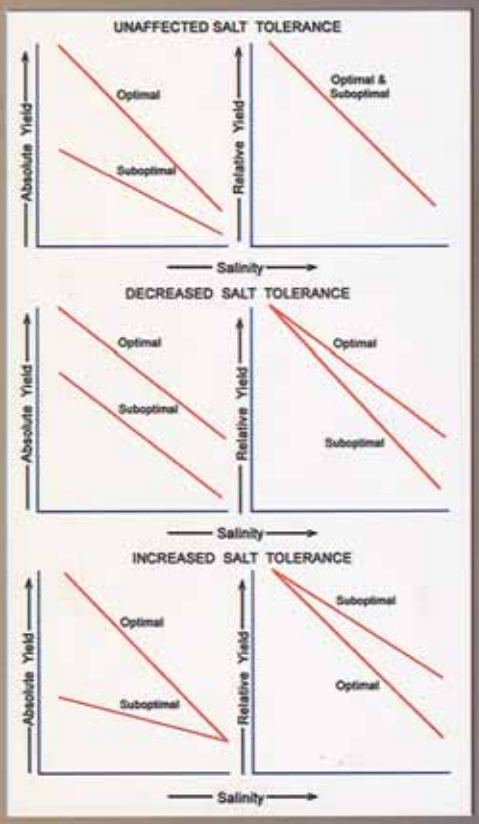
واکنش گیاهان به شوری



گروه کار زهکشی
کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران

شماره انتشار: ۵۸
۱۳۸۱

بسم الله الرحمن الرحيم

بسمه تعالی

کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران

نام کتاب: واکنش گیاهان به شوری

مؤلف: مهدی همائی

ناشر: کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران

حروف چینی و صفحه آرایی: کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران

چاپ اول: ۱۳۸۱

تیراژ: ۱۰۰۰ نسخه

شابک:

نشانی: تهران، خیابان شهید دستگردی، خیابان شهید کارگزار، خیابان شهید شهرساز، پلاک ۲۴،

کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران تلفن: ۲۲۵۷۳۴۸ نمابر: ۲۲۷۲۲۸۵

حق چاپ برای کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران محفوظ است.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۱- مقدمه ۱
۲- منابع و علل شور شدن خاک ۵
۳- واکنش گیاهان به شوری خاک ۷
۳-۱- کلیّات ۷
۳-۲- اثر اسمزی ۹
۳-۳- اثر ویژهٔ یونی ۹
۳-۴- عدم تعادل تغذیه‌ای ۱۰
۴- عوامل مؤثر بر واکنش گیاه به شوری ۱۲
۴-۱- کلیّات ۱۲
۴-۲- شرایط خاک ۱۴
۴-۲-۱- نوع نمک‌های موجود در خاک ۱۴
۴-۲-۲- توزیع نمک در نیمرخ خاک ۱۴
۴-۲-۳- رطوبت خاک ۱۵
۴-۲-۴- موجودات خاکزی ۱۷
۴-۲-۵- شرایط فیزیکی خاک ۱۷
۴-۲-۶- حاصلخیزی خاک ۱۸
۴-۳- اقلیم و کیفیت هوا ۱۹
۴-۴- عوامل گیاهی ۲۰
۴-۴-۱- سن گیاه ۲۰
۴-۴-۲- نوع و گونهٔ گیاهی ۲۲
۴-۵- عملیات کشاورزی ۲۳

عنوان **صفحه**

۴-۵-۱- روش آبیاری ۲۳
۴-۵-۲- بستر بذر ۲۳
۵- روابط کمّی اثر شوری بر عملکرد ۲۴
۶- روابط کمّی اثر توأمان شوری و کم‌آبی بر عملکرد ۳۱
۶-۱- کلیّات ۳۱
۶-۲- مدل‌های جذب آب در خاک‌های شور ۳۷
۶-۳- مدل‌های جذب آب به هنگام وجود توأمان شوری و کم‌آبی ۳۹
۷- داده‌های موجود برای مقاومت گیاهان به شوری ۴۶
۷-۱- گیاهان علفی ۴۶
۷-۲- درختان ۵۳
۸- مقاومت گیاهان در برابر آبیاری با آب شور به روش بارانی ۵۵
۹- واکنش گیاهان به یون‌های ویژه ۵۷
۹-۱- کلیّات ۵۷
۹-۲- سدیم ۵۸
۹-۳- کُلر ۵۹
۹-۴- بُر ۶۲
۹-۵- بیکربنات ۶۶
۹-۶- سیلینیم و سایر عناصر کم‌نیاز ۶۶
۱۰- مهار کردن شوری خاک ۶۷
۱۱- مصرف کود در خاک‌های شور ۶۸
۱۱-۱- کلیّات ۶۸
۱۱-۲- اثر کود بر تغییرات شیمیایی خاک ۷۱

عنوان **صفحه**

۱۱-۳- اثر شوری بر تغییرات شیمیایی کود ۷۶
۱۱-۴- اثر مصرف کود در خاک‌های شور بر عملکرد گیاهان ۷۸
۱۱-۴-۱- ازت ۷۸
۱۱-۴-۲- فسفر ۸۳
۱۱-۴-۳- پتاسیم ۸۵
۱۱-۴-۴- عناصر کم‌نیاز ۸۶
۱۱-۴-۵- مصرف کود و سمّیت ناشی از یون کُلر ۸۷
۱۱-۵- مصرف کود و راندمان مصرف آب ۸۸

پیشگفتار مؤلف

سرزمین پهناور ایران، منابع آبی و خاکی فراوانی را در خود جای داده که بخشی از آن برای کشاورزی چندان مناسب نبوده و هر نوع عملیات کشت و کار در آن نیازمند مدیریتی تخصصی و آگاهانه است. بخش بزرگی از خاک‌ها و حجم چشمگیری از کل منابع آبی موجود کشور به درجات مختلف مبتلا به شوری هستند. بدیهی است که راه‌حل قطعی و درازمدت برای خاک‌های شور، چیزی جز بهسازی آنها از طریق آبشویی نیست. لیکن، از آنجاییکه دستیابی به این هدف در بسیاری از موارد مستلزم احداث شبکه‌های زهکشی است، به دلیل هزینه‌بری فراوان ممکن است در عمل تحقق نیابد. در مورد آب‌های شور نیز مخلوط کردن آنها با آب‌های با کیفیت بهتر (کم‌شور) به عنوان یک راه‌حل همواره مطرح بوده، ولی معمولاً در جاهایی که شوری آب مسئله‌ساز است یا منابع آبی کم‌شور اندک است و یا امکان اختلاط وجود ندارد. بنابراین، در چنین شرایطی که طبیعت تصمیم‌گیرنده است، چاره‌ای جز کنار آمدن با آن وجود ندارد و برای دستیابی به عملکرد مطلوب، پس از شناخت ویژگی‌های آب و خاک، اطلاع از رفتار گیاهان مختلف و واکنش آنها به شوری امری بنیادی است. در همین چارچوب و در شرایطی که به هر دلیل امکان شوری‌زدایی وجود ندارد، این پرسش همواره مطرح بوده که آیا به هنگام وجود شوری باید کود مصرف شود یا نه؟ یا اصولاً در چه شوری‌هایی می‌توان کود مصرف کرد و چه مدیریتی باید اعمال نمود؟ در کتاب حاضر، تلاش شده است تا از این دیدگاه به مشکلات یادشده پرداخته شود. بنابراین، مطالب آن تنها در محدوده‌ای از شرایط که مشخصاً تعریف شده صادق بوده و از تعمیم دادن آنها به شرایط غیر مشابه باید جداً خودداری کرد.

نخستین اثر علمی که به زبان فارسی در مورد خاک‌های شور نگاشته شده، مربوط به استاد دانشمند جناب آقای **دکتر محمد بای‌بوردی** است که در کتاب‌های "فیزیک خاک"[1]،

۱- بای‌بوردی، محمد. ۱۳۷۹. فیزیک خاک. فصل ۷. انتشارات دانشگاه تهران. شماره ۱۶۷۲.

"اصول مهندسی زهکشی و بهسازی خاک"[۱] و "تشکیل و طبقه‌بندی خاک"[۲] به صورت فصل‌هایی مستقل ارائه گردیده و با تجدید چاپ کتابها نیز همواره مورد بازنگری قرار گرفته است. ضمن اینکه مطالعهٔ فصول یادشده را به کلیهٔ خوانندگان محترم توصیه می‌کنم، فرصت را مغتنم شمرده و **به عنوان قدردانی از این استاد توانا، کتاب حاضر را هرچند ناچیز به ایشان تقدیم می‌کنم**. همچنین لازم می‌دانم که از همکار گرامی جناب آقای دکتر علی سروش‌زاده استادیار گروه زراعت دانشگاه تربیت مدرس که ترجمهٔ نام‌های گیاهان را به عهده گرفته‌اند صمیمانه سپاسگزاری نمایم.

در پایان از کلیهٔ همکاران محترم، پژوهشگران و دانشجویان گرامی انتظار دارد تا کاستی‌های موجود را به نگارنده گوشزد نموده و پیشنهادات خود را به نشانی دانشگاه تربیت مدرس، گروه خاکشناسی ارسال نمایند.

مهدی همائی

۱- بای‌بوردی، محمد. ۱۳۷۳. اصول مهندسی زهکشی و بهسازی خاک. فصل ۱۱. انتشارات دانشگاه تهران. شماره ۱۳۳۴.

۲- بای‌بوردی، محمد. ۱۳۷۳. تشکیل و طبقه‌بندی خاک. فصل ۷. انتشارات دانشگاه تهران.

۱- مقدمه

اصولاً خاک شور به خاکی گفته می‌شود که غلظت "املاح محلول" در آن "به قدری" باشد که عملکرد را کاهش دهد؛ مشروط بر آنکه سایر عوامل مانعی برای رشد محصول ایجاد نکنند. از این تعریف به خوبی استنباط می‌شود که شوری مفهومی وابسته به گیاه است. بنابراین در دنیای کشاورزی، شوری در سیستم‌هایی مرکب از خاک، آب و گیاه تعریف می‌شود. بدین‌ترتیب در شرایط مساوی، خاکی با غلظت معینی از املاح محلول ممکن است برای یک گیاه شور، و برای گیاه دیگر شور نباشد.

محلول خاک‌های شور دارای مقدار زیادی املاح محلول است که کاتیون‌ها و آنیون‌های غالب آن را Na^+، Ca^{2+}، Mg^{2+}، K^+، Cl^- و SO_4^{2-} تشکیل می‌دهند. هرچند که pH خاک عاملی جهت طبقه‌بندی خاک‌های شور به شمار نمی‌رود، ولی معمولاً مقدار آن در عصارهٔ اشباع این خاک‌ها کمتر از ۸/۲ است. رشد و نمو اندک گیاهان در خاک‌های شور مربوط به بالا بودن فشار اسمزی ناشی از حضور یون‌های یادشده بوده که نهایتاً منجر به کاهش قابلیت استفادهٔ آب موجود برای گیاه می‌گردد. همچنین سمّیت مستقیم ناشی از حضور فراوان برخی از این یون‌ها بر گیاه اثر منفی گذاشته و نیز فراوانی نسبی هر یک از آنها منجر به برهم خوردن تعادل موجود میان این عناصر در درون گیاه می‌گردد؛ کنش و واکنش‌های حاصله به گونه‌ای رقم می‌خورند که سرانجامی جز ایجاد محدودیت بر رشد گیاه نخواهند داشت. در آن دسته از خاک‌های شور که سطح ایستایی بالا است، تهویهٔ خاک در منطقهٔ ریشه به خوبی انجام نمی‌شود و این نیز به نوبهٔ خود باعث ایجاد محدودیت در جذب عناصر غذایی می‌گردد.

با افزایش شوری خاک، فشار اسمزی افزایش یافته و گیاه برای جذب مقداری معین آب، باید انرژی حیاتی بیشتری صرف کند، همان انرژی که گیاه برای فعالیت‌های متابولیکی خود و فرآیندهایی نظیر توسعهٔ سلولی نیازمند آن است. چون گیاه کل انرژی حیاتی خود را نمی‌تواند فقط صرف غلبه بر فشار اسمزی محلول خاک کند، به ناچار تنها بخشی از آب موجود در خاک را جذب می‌کند و با در اختیار داشتن بخش دیگر انرژی حیاتی، فعالیت‌های متابولیکی خود را سامان می‌دهد. بدیهی است که در چنین شرایطی به

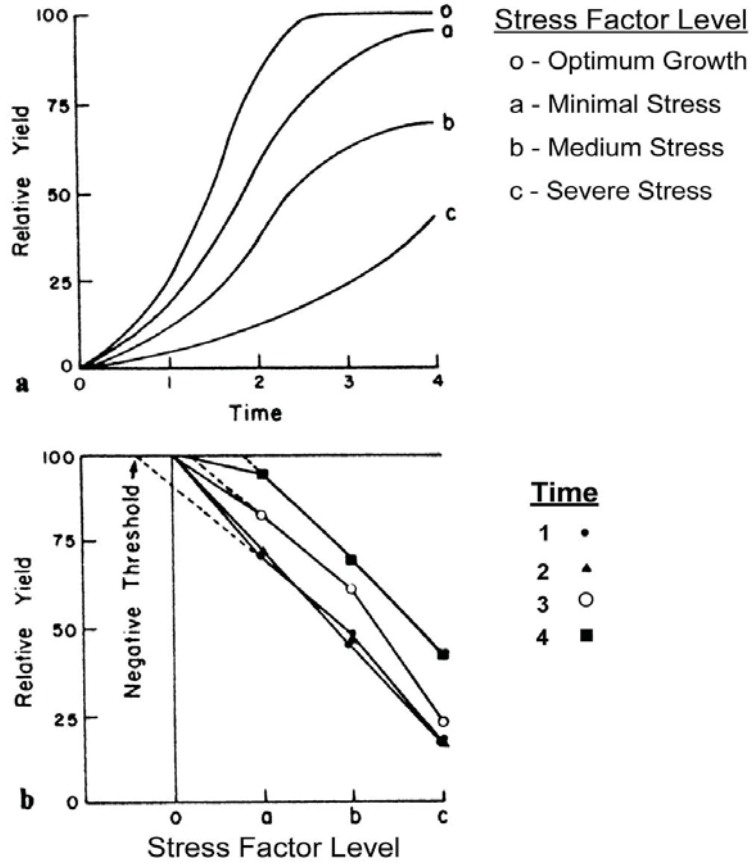
جهت صرف بخشی از انرژی حیاتی در جای دیگر (برای جذب آب از محلول خاک شور) رشد و نمو گیاه محدود شده و نهایتاً از مقدار محصول کاسته می‌شود. بدین ترتیب با افزایش شوری خاک و بالا رفتن فشار اسمزی، هرچند هم که آب به قدر کافی در محیط ریشه وجود داشته باشد، جذب آن توسط گیاه کاهش می‌یابد.

بالا بودن غلظت نسبی برخی یون‌ها در محلول خاک نیز یا مستقیماً منجر به سمّیت گیاه می‌گردد و یا با مختل کردن تعادل یونی محلول خاک فعالیت‌های طبیعی گیاه به هم می‌خورد. به عنوان مثال هرچند که سولفات، یونی مهم در فرآیندهای متابولیکی گیاه است و حضور آن برای تشکیل پروتئین و آنزیم‌های گیاهی ضروری می‌باشد، ولی غلظت زیاد آن منجر به مسمومیت گیاه حتی بیش از کُلر می‌گردد. با این حال سمّیت ناشی از کُلر در بسیاری از گیاهان خشبی، مرکبات و انگور بیش از سولفات است. یون‌هایی نظیر بُر (B) نیز مستقیماً ایجاد سمّیت می‌کنند. چنانچه غلظت بُر در محلول خاک بیش از ۴ میلی‌گرم در لیتر باشد، بیشتر گیاهان مسموم می‌شوند.

اصولاً غلظت نسبی Na^+، Ca^{2+}، Mg^{2+}، Cl^-، SO_4^{2-} و HCO_3^- در محلول خاک‌های شور ثابت نبوده بلکه بسیار متغیر است. تا هنگامی که نسبت موجود میان این یون‌ها به صورتی حاد در نیامده، گیاه به کل غلظت موجود (فشار اسمزی) واکنش نشان می‌دهد. ولی چنانچه نسبت‌های یادشده، بسیار زیاد و یا بسیار کم باشند، واکنش منفی گیاه مدلول برهم خوردن تعادل تغذیه‌ای خواهد بود. معمولاً واکنش شیمیایی موجود بین Cl^- و $H_2PO_4^-$؛ Cl^- و NO_3^-؛ Cl^- و SO_4^{2-}؛ Na^+ و K^+ از نوع منفی(Antagonism) بوده و در حالت چیرگی یون‌های یادشده بر دیگری، تعادل تغذیه‌ای در درون گیاه به شدت مختل شده و رشد گیاه محدود می‌گردد.

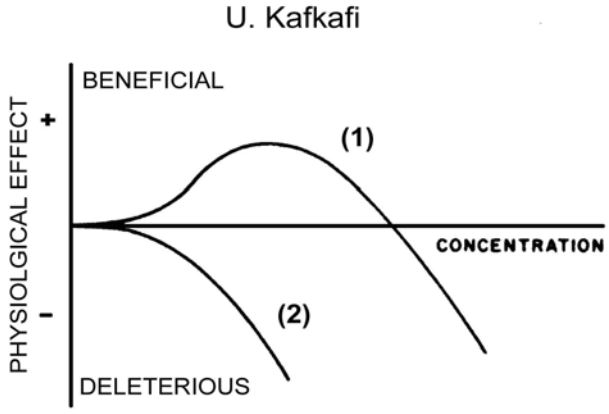
مهمترین واکنش گیاه به افزایش شوری خاک، کاهش آهنگ رشد است. در خاک‌های شور، ابتدا رشد رویشی گیاه و توسعهٔ برگ‌ها متأثر می‌شوند. همانگونه که در شکل a-۱ نشان داده شده، منحنی رشد، شکلی سیگموییدی دارد. در این شکل، منحنی رشد در حالت بهینه (حالت a) و سه سطح مختلف شوری به نمایش درآمده است. (a) بیانگر حالتی است که مقدار تنش شوری جزئی می‌باشد. در حالت (b)، تنش ناشی از شوری

متوسط و در حالت (c) بسیار شدید است. شکل a-۱ به خوبی بیانگر این واقعیت است که چنانچه در زمانی معین پس از کاشت بذر، نمونه‌برداری صورت گیرد، بسته به اینکه شوری خاک چقدر باشد، گیاه مراحل مختلفی از رشد را نشان می‌دهد. حال چنانچه محصول نسبی را به عنوان تابعی از سطح تنش موجود (شوری) رسم کنیم، شکل b-۱ به دست می‌آید. همانگونه که در این شکل نمایان است، از آنجاییکه منحنی‌های رشد خطی نیستند، محصول در زمان‌های مختلف پس از کاشت بذر شیب‌ها و آستانه‌های کاهش متفاوتی را به وجود می‌آورند.



شکل ۱- آهنگ رشد به عنوان تابعی از چهار سطح شوری (a)، و رابطهٔ محصول نسبی و شوری در چهار زمان مختلف طی دورهٔ رشد (b).

چنانچه تأثیر غلظت نمک‌ها و عناصر مختلف موجود در خاک را بر فرآیندهای فیزیولوژیک گیاه بررسی کنیم، شکلی مانند شکل ۲ به دست می‌آید. در این شکل، غلظت در محور xها و اثرات فیزیولوژیک در محور yها قرار گرفته است. همچنین اثرات مثبت و منفی فیزیولوژیک به ترتیب در بالا و پایین محل تلاقی x و y قرار گرفته‌اند. حال چنانچه دو حالت شدید را برای عناصر شیمیایی خاک در نظر بگیریم، تغییرات به صورت آنچه که در شکل با علائم (۱) و (۲) نشان داده شده‌اند بروز می‌کنند. حالت (۱) حالتی است که عنصر (یا عناصر) موجود در خاک مطلقاً برای رشد و فعالیت‌های فیزیولوژیک گیاه ضروری است. با افزایش غلظت از این نقطه به بعد که با جذب بیشتر توسط گیاه توأم است، فعالیت فیزیولوژیک گیاه کاهش می‌یابد. حالت (۲) وضعیتی را نشان می‌دهد که عناصر موجود در خاک برای فعالیت فیزیولوژیک گیاه به جز در غلظت‌های بسیار اندک اساساً مضرّ بوده و با افزایش غلظت، فعالیت گیاه بلافاصله کاهش می‌یابد.



شکل ۲- اثرات فیزیولوژیک عناصر غذایی برمبنای غلظت آنها.

در این کتاب تلاش بر آن است تا به طور فشرده به موضوعات زیر پرداخته شود:

الف- واکنش گیاهان به شوری و یون‌های سمّی مانند سدیم، کُلر و بُر؛

ب- عوامل مختلفی که بر واکنش گیاه به شوری مؤثرند؛

ج- بیان کمّی اثر شوری و کم‌آبی بر عملکرد گیاهان؛
د- راهکارهای مدیریتی جهت مهار شوری خاک و دستیابی به بیشترین عملکرد ممکن؛ و
ه- اثر متقابل شوری و عناصر غذایی بر عملکرد گیاهان.

همانگونه که اشاره شد، این مباحث به طور خلاصه مورد بحث قرار خواهند گرفت و خوانندگان برای پیگیری جزئیات مطالب می‌توانند به منابعی که در پایان کتاب ارائه گردیده مراجعه نمایند.

۲- منابع و علل شور شدن خاک

کلیهٔ نمک‌هایی که در خاک‌ها و آب‌ها وجود دارند، از هوادیدگی[1] سنگ‌های مادری خود به وجود آمده‌اند. در طی دوره‌های زمین شناسی، کانی‌های اولیه بر اثر واکنش با آب، اکسیژن و گازکربنیک به کانی‌های ثانویه و نمک‌ها تبدیل شده‌اند که اینها نیز به همراه جریانات آبی، یا به دریاها و اقیانوس‌ها راه یافته و یا در سطح زمین نهشته شده‌اند. غرقاب شدن بخش وسیعی از اراضی به وسیلهٔ آب شور اقیانوس‌ها، منجر به برجای ماندن نهشته‌هایی گردیده که اکنون منبع عمدهٔ نمک در مناطق خشک و نیمه خشک به شمار می‌آیند.

در اراضی ساحلی و دلتاها، شور شدن خاک، عمدتاً بر اثر آمیختن آب‌های شور دریا با آب‌های شیرین است. بهره‌برداری بی‌رویه از چاه‌ها نیز می‌تواند منجر به تخریب کیفیت آب‌های زیرزمینی از طریق آمیزش با آب دریا گردد. هنگامی که آب‌های شورِ برون آمده از مزارع به کانالی سرازیر شوند که کیفیت آب آن خوب است، موجب نامطلوب شدن آن می‌گردند. کشاورزی در اراضی ساحلی همچنین ممکن است در معرض حرکت چرخه‌ای و جابه جایی نمک قرار گیرد. بدین ترتیب که به هنگام توفان‌های دریایی و یا باد، آب شور

1 -Weathering

دریا بر روی خاک قرار گرفته و خاک را شور کند. این نمک‌های انباشته شده بر روی خاک می‌توانند تا فواصل زیادی حرکت کرده و اراضی دوردست‌تر را نیز شور کنند، ولی بیشترین اثر زیان‌بار آنها بر روی محصولاتی است که نزدیکتر به ساحل کشت شده‌اند.

آب‌های زیرزمینی می‌توانند دارای مقدار بسیار زیادی نمک باشند، بی‌آنکه منشاء آن دریا باشد. غلظت و ترکیب شیمیایی آب‌های زیرزمینی قویاً به شرایط ژئوشیمیایی مسیری که آب ضمن فرآیند نفوذ طی کرده تا به آب زیرزمینی برسد، بستگی دارد. صرفنظر از اینکه منشاء نمک موجود در آب چه باشد، هر نوع آبیاری منجر به ورود مقداری نمک در خاک می‌گردد. چنانچه مقدار نمک خروجی از منطقهٔ ریشه کمتر از مقدار ورودی آن باشد، افزایش شوری خاک حتمی است و بنابراین برای دستیابی به بیلان مناسبی از نمک در خاک باید آبشویی[1] کافی صورت گیرد.

در حوضه‌های بسته، ممکن است مدتها پیش از آنکه عملیات آبیاری به آنجا راه یافته باشد نمک خود در خاک وجود داشته باشد. انجام آبیاری در چنین شرایطی منجر به بالا آمدن سطح ایستابی شور به ویژه در مناطقی که زهکشی نامناسب دارند آنهم در مدت نسبتاً کوتاهی می‌گردد. حتی اگر کیفیت آب آبیاری هم مطلوب باشد، پدیده شور شدن خاک بر اثر بالا آمدن سطح ایستابی شور امکان‌پذیر است. به طور کلّی در چنین شرایطی، بالا آمدن سطح ایستابی زاییدهٔ آبیاری و یا آبشویی بیش از اندازه و مدیریت نادرست است.

از آنچه که تاکنون به آن پرداخته شد، دو فرآیند "شور شدن بر اثر آبیاری با آب شور" و "شور شدن بر اثر بالا آمدن سطح ایستابی شور" علت اصلی شور شدن خاک‌ها در بسیاری از نقاط جهان به شمار می‌آیند. لازم به تذکر است که حضور هر یک از دو پدیدهٔ فوق مانع از تحقق دیگری نمی‌شود و غالباً هر دو با هم مسئول شور شدن خاک هستند.

---

1 -Leaching

۳- واکنش گیاهان به شوری خاک

۳-۱- کلیّات

مهمترین واکنش گیاه به شوری خاک، کاهش رشد است. با افزایش غلظت املاح به بیش از "آستانهٔ تحمّل"[1] گیاه، هم آهنگ رشد کاهش می‌یابد و هم اندازهٔ گیاه کوچک می‌شود. آستانهٔ تحمّل یا آستانهٔ مقاومت گیاه، غلظتی از املاح محلول در خاک است که از آن پس کاهش عملکرد آغاز می‌شود. هم آستانهٔ مقاومت و هم کاهش آهنگ رشد به نوع و گونهٔ گیاهی بستگی داشته و در گیاهان و گونه‌های مختلف متفاوت است. مثلاً گیاهانی مانند باقلا و توت‌فرنگی آنقدر حساس هستند که اگر غلظت املاح محلول در خاک تنها به دو برابر غلظت متعارف یک خاک غیر شور برسد، دچار کاهش رشد می‌شوند. از سوی دیگر گیاهانی چون پنبه، جو و چغندرقند تقریباً به اندازهٔ گیاهان نمک‌دوست[2] قادر به تحمّل شوری هستند و معمولاً در شوری‌های اندک رشد بهتری نسبت به خاک غیر شور دارند.

شوری خاک از راههایی چند بر فعالیتهای فیزیولوژیک گیاه تأثیر می‌گذارد ولی نشانه‌های آسیب‌دیدگی ناشی از وجود شوری معمولاً هنگامی در گیاه آشکار می‌شود که غلظت املاح محلول در خاک بسیار بالا باشد. گیاهان مبتلا به شوری اغلب ظاهری معمولی دارند ولی عموماً کوتاهتر بوده، برگ آنها ضخیم‌تر، پرآب‌تر و به رنگ سبز تیره هستند.

هرچند که مفهوم کمّی مقاومت گیاهان به شوری، بر پایهٔ عملکرد (مقدار محصول) استوار است، لیکن شوری خاک می‌تواند منجر به کاهش کیفیت برخی محصولات و بهبود برخی دیگر گردد. مثلاً با افزایش شوری خاک، اندازه و یا کیفیت میوه‌ها کاهش می‌یابد. ارزش بازاری (بازاریابی) بسیاری از سبزیجات مانند هویج، خیار، کرفس، فلفل، سیب‌زمینی، کلم، کاهو و سیب‌زمینی شیرین به طور قابل ملاحظه‌ای پایین می‌آید، و یا اینکه کیفیت میوهٔ مرکبات اندکی نامرغوب می‌شود. با این حال، بالا رفتن غلظت قند در

---

1 -Threshold Value

2 -Halophytes

هویج و مارچوبه، افزایش مجموع املاح قابل حل (TSS)[1] در گوجه‌فرنگی و خربزه، و بهبود کیفیت دانهٔ گندم از اثرات مثبت شوری به شمار می‌آیند.

به طور کلّی، شوری از سه راه رشد و عملکرد گیاه را محدود می‌کند. اثر نخست و غالب مربوط به کلّ املاح محلول در خاک است که کاهش پتانسیل اسمزی را به دنبال دارد. با کاهش پتانسیل اسمزی، انرژی آزاد آب کاهش یافته و گیاه برای به دست آوردن مقداری مشخص آب باید انرژی حیاتی بیشتری صرف کند. بنابراین بخشی از انرژی که خود گیاه برای رشد و نمو به آن نیاز دارد، صرف به دست آوردن آب شده و بدین ترتیب رشد عمومی آن کاهش می‌یابد. به این اثر، اصطلاحاً "اثر اسمزی"[2] گویند. اثر دوم مربوط به وجود یون‌هایی خاص در محلول خاک می‌شود. یون‌هایی نظیر کُلر، سدیم و یا بُر به تنهایی می‌توانند مستقیماً موجب بروز سمّیت در گیاه شده و در مکانیسم‌های جذب گیاه اختلال ایجاد کنند. ممکن است که حتی خاک شور نباشد ولی با افزایش غلظت نسبی هر یک از یون‌های یادشده در محلول خاک، گیاه مسموم گردد. در صورتی که هم خاک شور باشد و هم فراوانی نسبی این یون‌ها زیاد باشد، گیاه افزون بر گزند ناشی از شوری، از سمّیت یونی نیز رنج خواهد برد. اصطلاحاً به این اثر "اثر ویژهٔ یونی"[3] یا "اثر اختصاصی یونی" گفته می‌شود. اثر نوع سوم در حقیقت زاییدهٔ اثر نوع دوم است که موجب بروز "عدم تعادل تغذیه‌ای"[4] می‌شود. بدین معنی که وجود یون‌های سدیم، کُلر و نظایر آن به مقدار زیاد منجر به بر هم خوردن تعادل عناصر غذایی موجود در محلول خاک شده و نهایتاً جذب و انتقال سایر عناصر غذایی ضروری مانند Ca^{2+}, K^{+} و Mg^{2+} از خاک به گیاه مختل می‌گردد. گاه به اثرات دوم و سوم اثر اختصاصی (ویژه) و به اثر اول اثر غیر اختصاصی نیز گویند.

---

1 -Total Soluble Salts
2 -Osmotic Effect
3 -Especific Ion Effect
4 -Plant Nutritional Imbalance

۳-۲- اثر اسمزی

به نظر می‌رسد که کاهش رشد گیاه بیشتر ناشی از اثر غیراختصاصی شوری است، بدین معنی که می‌توان آنرا مستقیماً به کل غلظت املاح محلول و یا پتانسیل اسمزی آب خاک مرتبط دانست. معمولاً در فشارهای اسمزی برابر، ترکیبات شیمیایی متفاوت موجب کاهش رشد همسانی در گیاه می‌گردند. از سوی دیگر، چنانچه غلظت یک نمک معیّن در محلول خاک از حدی فراتر رود و یا نسبت‌های یونی موجود به سود یکی از آنها تغییر یابد، یا سمّیت یونی و یا عدم تعادل تغذیه‌ای رشد گیاه را به صورتی مضاعف محدود می‌نماید. اما از آنجاییکه محلول خاک‌های شور حاوی انواع مختلف نمک است، اثر اختصاصی یون‌ها نسبت به اثر اسمزی در کاهش رشد گیاه، به ویژه برای گیاهان یکساله و چندسالهٔ غیر درختی، کمتر می‌باشد. از سوی دیگر، درختان میوه و گیاهان آجیلی می‌توانند یون‌های Cl^- و Na^+ را تا حد سمّیت در خود جمع کنند که منجر به سوختگی برگی، نکروز و کاهش برگدهی می‌گردد. شدت و دامنهٔ زیان ناشی از این امر به مقدار تجمع عناصر یادشده بستگی دارد. برخی از گیاهان یکساله مانند سویا نیز توانایی انباشت یون‌های سمّی را دارند، ولی حتی اگر غلظت Na^+ و Cl^- تجمع یافته در آنها به اندازه‌ای باشد که درگیاهان چوبی ایجاد سمّیت می‌نماید، مسموم نمی‌گردند.

۳-۳- اثر ویژهٔ یونی

هنگامی که اثر اختصاصی یونی و سمّیت ناشی از آن اتفاق می‌افتد، زیان آن به همراه اثر اسمزی به صورت تجمعی منجر به کاهش عملکرد می‌گردد. چنانچه کاهش رشد گیاه نتیجهٔ هر دو عامل یادشده با هم باشد، جدا کردن سهم هر یک در این کاهش به طور کمّی عملاً غیر ممکن است. زیرا پژوهش‌های انجام شده در این‌باره ناچیز است و به اطلاعات بیشتری برای تفکیک اثر هر یک نیازمندیم. اما اگر بخواهیم که اثر آنها را به صورت کیفی تفکیک کنیم، می‌توانیم اثرکل کاهش را به زیان‌های وارده به برگ‌ها و خزان برگی که سرانجام کاهش سطوح فتوسنتزکنندهٔ تاج گیاه را به دنبال دارد نسبت دهیم. اثر ویژهٔ یونی در برخی از گیاهان چوبی مانند انگور ممکن است بر اثر اسمزی غالب باشد و در برخی دیگر نظیر میوه‌های هسته‌دار با زیان ناشی از شوری برابری کند.

کاهش محصول ناشی از تنش اسمزی در بیشتر محصولات از جمله گونه‌های درختی، ممکن است پیش از آنکه نشانه‌های آسیب برگی ظاهر شوند، قابل توجه باشد. گزارش‌هایی نظیر اینکه در مرکبات کاهش محصول پیش از تجمع مقدار قابل ملاحظه‌ای Na^+ و Cl^- در برگ‌ها و بروز نشانه‌های ظاهری اتفاق می‌افتد، نشان‌دهندهٔ این واقعیت است که اثر غالب مربوط به فشار اسمزی است. با این حال پدیدهٔ تجمع یون‌ها تا حد سمّیت در درختان، پدیده‌ای تدریجی است که طی چندین سال و پیش از آنکه نشانه‌های برگی ظاهر گردند صورت می‌گیرد. بنابراین، خسارت برگی می‌تواند بلافاصله پس از رسیدن این یون‌ها به برگ‌ها پدید آید. در چنین حالتی با گذشت زمان، مقاومت گیاه به یون‌های یادشده کاهش یافته و زیان‌های برگی با سرعت بیشتری بروز می‌کنند. بدین ترتیب زمان شروع آسیب‌های برگی می‌تواند بیانگر شدت خسارت وارده به محصول باشد. چنانچه این آسیب‌ها در اواخر فصل زراعی (برای محصولات یکساله) بروز کنند، خسارت چندانی به عملکرد وارد نمی‌شود. اما در آندسته از درختان میوه که محصول آنها طی یک دورهٔ دوساله فراهم می‌آید، خسارت برگی در هر دو سال تعیین کننده‌تر از زمانی است که تنها در سال دوم اتفاق می‌افتد. بدیهی است که ادامه تنش در درازمدت، افزون بر محصول و برگ‌ها سرانجام به خود درخت نیز آسیب خواهد رساند.

۳-۴- عدم تعادل تغذیه‌ای

افزون بر اثر اسمزی و سمّیت ویژهٔ یونی، شوری خاک موجب بروز عدم تعادل تغذیه‌ای در گیاه می‌گردد، که شدت و ضعف آن بسته به نوع گیاه و حتی گونه‌های مختلف یک گیاه متفاوت است. دامنهٔ بهینهٔ هر عنصر غذایی در محلول خاک به عوامل مختلفی از جمله غلظت و ترکیب شیمیایی املاح بستگی دارد. زیرا شوری خاک، " فعالیت یونی"[1] عناصر غذایی موجود در محلول خاک را تحت تأثیر خود قرار داده و در نتیجه توازن موجود میان نسبت آنها را برهم می‌زند. مثلاً چنانچه نسبت‌های Na^+/K^+،

1 -Ionic Activity

Cl^-/NO_3^- و Na^+/Ca^{2+} افزایش یابد، گیاه دچار اختلال تغذیه‌ای می‌گردد. به طور کلی شوری خاک ، تعادل تغذیه‌ای گیاه را از راههای زیر برهم می‌زند:

- مختل کردن "قابلیت دسترسی"[1] عناصر غذایی از خاک؛
- مختل کردن جذب و یا توزیع عناصر غذایی در درون گیاه؛ و
- افزایش نیاز گیاه به یک یا چند عنصر غذایی بر اثر غیر فعال شدن برخی فرآیندهای فیزیولوژیک.

مجموعهٔ مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که با افزایش شوری خاک، جذب عناصر غذایی توسط گیاه کاهش می‌یابد. البته این خود به نوع عنصر غذایی و ترکیب شیمیایی محلول خاک شور بستگی دارد. فعالیت یونی عناصر غذایی با افزایش شوری خاک کاهش می‌یابد مگر آنکه عنصر مورد نظر خود از عناصری باشد که شوری خاک را فراهم آورده باشد (مانند کلسیم ، منیزیم و یا یون سولفات). یک مثال روشن در این مورد، کاهش قابلیت دسترسی فسفر در خاک‌های شور است. زیرا از یک طرف با افزایش شوری، اثر "قدرت یونی"[2] کاهش فعالیت یون فسفر را به همراه داشته و از طرف دیگر غلظت فسفر خود به وسیله فرآیندهای جذب سطحی در خاک مهار می‌گردد. شوری خاک به طور غیر مستقیم و از راه محدود کردن رشد ریشه‌ها نیز جذب عناصر غذایی را کاهش می‌دهد.

غالباً در خاک‌های شور، جذب و تجمع عناصر غذایی در گیاه بر اثر ایجاد فرآیندهای رقابتی بین عناصر غذایی و گونه‌های مختلف نمک کاهش می‌یابد. همچنین گیاهان به صورت انتخابی جذب K^+ به Na^+ را ترجیح می‌دهند؛ ولی در صورت چیرگی غلظت یون سدیم در محلول خاک، کمبود K^+ در گیاه قطعی است. همچنین، فراوانی Cl^-، جذب و تجمع NO_3^- را درگیاه شدیداً کاهش می‌دهد. کمبود کلسیم هنگامی که غلظت Na^+ بالا است (نسبت Na^+/Ca^{2+} بالا) از جمله پدیده‌هایی است که توسط پژوهندگان مختلف گزارش شده است. این موضوع به ویژه برای گیاهان علفی نظیر ذرت، سورگوم، برنج،

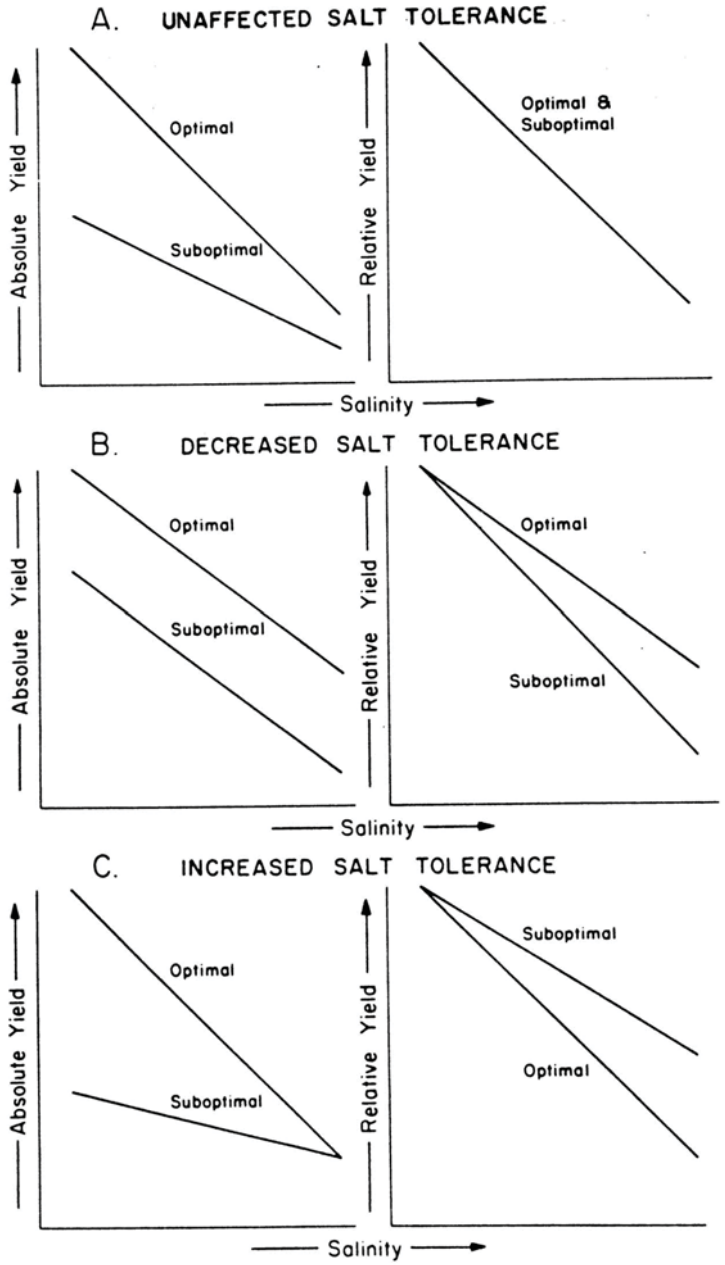
1 -Availablility
2 -Ionic Strength

گندم و جو صادق است. مسائل تغذیه‌ای خاک‌های شور در فصل یازدهم به تفصیل مورد بحث قرار گرفته است.

۴- عوامل مؤثر بر واکنش گیاه به شوری

۴-۱- کلیّات

هرچند که مقدار محصول تابعی از غلظت املاح محلول در ناحیهٔ رشد ریشه است، لیکن باید نوع خاک، آب و شرایط اقلیمی نیز مورد توجه قرار گیرند، زیرا عملکرد به هر یک از این عوامل نیز بستگی دارد. در حالیکه برخی تنش‌های محیطی منجر به کاهش عملکرد می‌شوند، لیکن ممکن است مقاومت گیاهان به شوری را افزایش، کاهش و یا بی‌اثر بگذارند. بنابراین، لازم است که اثر هر یک از عوامل یادشده بر مقدار عملکرد به صورت مقایسه‌ای مد نظر قرار گیرد. شکل ۳ اثرات متقابل احتمالی را در این زمینه نشان می‌دهد. چنانچه واکنش به شوری هنگامی که عامل محدود کننده به قدر کافی وجود دارد و زمانیکه به اندازه کافی وجود ندارد نسبتاً یکسان باشد (مثلاً وقتی که درصد عملکرد مطلق در هر دو حالت به یک اندازه کاهش یابد)، مقاومت نسبی یکسان خواهد بود (نوع A). اگر شوری خاک در هر دو حالتِ کمبود و کفایت منجر به کاهش هم‌اندازهٔ عملکرد مطلق گردد، گیاه ممکن است در حالت فقر غذایی مقاومت کمتری نشان دهد (نوع B). اما چنانچه عملکرد بر اثر فقر غذایی شدیداً کاهش یابد، گیاه ممکن است پس از مصرف کود کافی مقاومت بیشتری از آنچه که باید، از خود نشان دهد (نوع C)؛ زیرا اثر منفی شوری بر عملکرد نمی‌تواند به اندازهٔ اثرات مثبت تغذیهٔ کافی باشد. لازم به تذکر است که آنچه که در شکل ۳ نشان داده شده روابطی آرمانی بوده و تنها در دامنه‌ای از تغییر متغیرها معتبر است که در آن رابطهٔ عملکرد و محصول خطی است. چنانچه کاهش عملکرد نسبی مستقل از تفاوتها در عملکرد واقعی که خود متأثر از نوع خاک، عملیات آبیاری و اقلیم است باشد، منحنی تغییرات عملکرد نسبت به شوری بیان مطلوبی از مقاومت به شوری خواهد بود. برخی از عواملی که می‌توانند مقاومت به شوری را تحت تأثیر قرار دهند در بخشهای بعدی مورد بررسی بیشتری قرار می‌گیرند.



شکل ۳- اثرات متقابل احتمالی بین شوری و سطح حاصلخیزی خاک.

۴-۲- شرایط خاک

۴-۲-۱- نوع نمک‌های موجود در خاک

همه خاک‌ها و آب‌های آبیاری حاوی مقداری نمک هستند. کاتیون‌ها و آنیون‌های عمده‌ای که شور شدن را سبب می‌شوند به ترتیب شامل Na^{+}، Ca^{2+}، Mg^{2+}، Cl^{-}، SO_4^{2-} و HCO_3^{-} می‌باشند. سایر یون‌ها و عناصری که می‌توانند سهمی در شور شدن خاک داشته باشند، دارای غلظتی بسیار اندک هستند. بنابراین نقش آنها در شور کردن خاک ناچیز است، ولی عناصری نظیرB برعملکرد، Se وMo بر کیفیت محصولات، و NO_3^{-}، B، Se، As، U و Mo بر کیفیت زیست محیطی زه‌آبها تأثیر می‌گذارند.

۴-۲-۲- توزیع نمک در نیمرخ خاک

به جز در شرایط کنترل شدهٔ آزمایشگاهی، شوری خاک به ندرت در طول نیمرخ خاک یکنواخت است. بسته به شدت آبشویی و آهنگ زهکشی، توزیع نمک در نیمرخ خاک ممکن است یکنواخت و یا کاملاً غیر یکنواخت باشد. روش آبیاری نیز یکی دیگر از عواملی است که توزیع نمک در خاک را کنترل می‌کند. چنانچه سطح ایستابی شور تا عمق ۱/۵ متری از سطح خاک باشد، املاح می‌توانند به وسیله جریان مویینگی به بالا حرکت کرده و در آنجا تجمع یابند. در چنین حالتی، توزیع نمک به گونه‌ای تغییر می‌کند که بیشترین شوری در سطح خاک تمرکز یافته و با افزایش عمق تا سطح ایستابی از مقدار آن کاسته می‌شود.

شوری خاک در فاصله بین دو آبیاری نیز بر اثر تبخیر آب، تغییر می‌کند. در نتیجه، گیاه باید به غلظتی از املاح واکنش نشان دهد که در ناحیهٔ ریشه به طور چشمگیری دستخوش تغییرات مداوم می‌گردد. رشد ریشه و پراکنش آن در نیمرخ خاک نه تنها از مقدار رطوبت خاک و روش آبیاری متأثر می‌گردند، بلکه تغییرات شوری نیز سهمی به سزا در آن دارد. متأسفانه اطلاعات کمّی در این زمینه بسیار اندک بوده و پژوهش‌های بیشتری لازم است. در مورد اینکه گیاه چگونه به شوری‌های متغییر در نیمرخ خاک واکنش نشان می‌دهد نظر واحدی وجود ندارد. برای بیان رابطهٔ عملکرد با مقادیر متغییر شوری، Rhoades و Loveday (۱۹۹۰) پیشنهاد کرده‌اند که برای آبیاری مرسوم از

میانگین خطی شوری در زمان و مکان و برای آبیاری‌های با دور زیاد از میانگین وزنی آب جذب شده توسط گیاه استفاده شود. برخی پژوهشگران (Dirksen، ۱۹۸۵؛ Homaee و Feddes، ۱۹۹۹) نیز میانگین وزنی مبتنی بر جذب نسبی را پیشنهاد کرده‌اند. بدین معنی که گیاه به میانگین وزنی هدایت الکتریکی محلول خاک متناسب با کل مقدار جذب واکنش نشان می‌دهد. رابطهٔ پیشنهادی به صورت زیر است:

$$\overline{EC} = \frac{\int_0^{\infty} S(z)\ EC(z)\ dz}{\int_0^{\infty} S(z)\ dz}$$

که در آن S شدت جذب آب در هر عمق (z) از خاک، $\overline{\mathrm{EC}}$ میانگین وزنی هدایت الکتریکی محلول خاک و EC هدایت الکتریکی محلول خاک در هر نقطه از نیمرخ خاک است.

۴-۲-۳- رطوبت خاک

گیاهان مبتلا به شوری معمولاً در شرایطی قرار دارند که یا کم‌آبی و یا فراوانی آب بر آن حاکم است. بنابراین، رفتار گیاه طی دورهٔ رشد نه تنها به پاسخ گیاه به شوری بلکه به کم‌آبی هم بستگی دارد. از طرف دیگر در خاک‌های غرقابی و یا خاک‌هایی که زهکشی ضعیفی دارند، پخشیدگی گاز اکسیژن به ریشه‌ها کاهش یافته و بنابراین رشد گیاه با کاهش تنفس ریشه‌ها محدود می‌شود. هنگامی که نیمرخ خاک به وسیله آب شور اشباع شود، اثر مشترک شوری و کمبود O_2 می‌تواند به صورتی مضاعف جوانه زدن بذر، جذب انتخابی یون‌ها توسط گیاه، و رشد شاخه‌ها را مختل کند.

کمبود آب یکی از پدیده‌هایی است که در شرایط زراعی اجتناب‌ناپذیر است، زیرا رطوبت خاک در طی فصل رشد در زمان و مکان تغییراتی فراوان دارد. اینکه چگونه گیاه به مجموع شوری و کم‌آبی پاسخ می‌دهد هنوز به خوبی روشن نشده است. بدیهی است

که گیاه از هر دوی این تنش‌ها بیشتر آسیب می‌بیند تا یکی از آنها به تنهایی؛ ولی اینکه آیا اثر آنها جمع‌پذیر است یا نه موضوعی است که توسط Homaee (۱۹۹۸)، Homaee و Feddes (۱۹۹۹ و ۲۰۰۱) به تفصیل مورد بحث قرار گرفته است. بیان کمّی این موضوع با توجه به اینکه هر کدام از این تنش‌ها چه نقشی در شرایط متغییر زمان و مکان ایفا می‌کنند بسیار دشوار است. کم‌آبی ممکن است بر بخش‌های بالاتر ناحیه ریشه چیره باشد، حال آنکه شوری خاک بیشتر بخش‌های زیرین را متأثر می‌سازد.

مطالعات اولیه نشان داده بود که پاسخ گیاه لوبیا به شوری و کم‌آبی جمع‌پذیر است. حال آنکه پژوهشگران نشان دادند که اثر پتانسیل ماتریک بر رشد شاخه‌های لوبیا بیش از پتانسیل اسمزی است. از نظر ترمودینامیکی، پتانسیل‌های ماتریک و اسمزی خاک جمع‌پذیرند ولی عوامل سینیتیکی نیز باید مورد توجه قرار گیرند. مثلاً واکنش گیاه به این تنش‌ها، هنگامی که نیاز تبخیری[1] کم است با زمانی که زیاد است باید تفاوت داشته باشد. زیرا پتانسیل ماتریک و نه پتانسیل اسمزی، حرکت آب از خاک به ریشه‌ها را کنترل می‌کند.

صرف‌نظر از اینکه گیاه چگونه به این تنش‌ها پاسخ می‌دهد، ثابت شده که عملکرد گیاه در شرایط شور بهتر از حالت کم‌آبی است. با این حال، کوتاه کردن فواصل آبیاری الزاما به بهبود عملکرد گیاهان مبتلا به شوری نمی‌انجامد. گیاهانی که از شوری رنج می‌برند، نسبت به گیاهانی که به شوری مبتلا نیستند هم کوچکتر هستند و هم رشد کندتری دارند و بنابراین نیاز آبی آنها کمتر است. در نتیجه، مقدار آب کمتری را از نیمرخ خاک برداشت می‌کنند و بنابراین کمتر به دور آبیاری پاسخ می‌دهند. در نتیجه، افزایش دور آبیاری تنها هنگامی به سود گیاه است که بتواند اولاً تنش آبی را (در صورت وجود) کاهش دهد، ثانیاً غلظت املاح محلول را از حدی پایین‌تر نگه دارد، و ثالثاً فراوانی آب، کاهش پخشیدگی گاز O_2 را فراهم نیاورد. روابط کمّی اثر توأمان شوری و کم‌آبی بر عملکرد گیاهان، در فصل‌های بعدی این کتاب مورد بحث قرار گرفته است.

---

1 -Evaporative Demand

۴-۲-۴- موجودات خاکزی

پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد که باکتری‌های همزیست ریزوبیوم (Rhizobium Spp.) نسبت به شوری مقاوم‌تر از گیاه میزبان خود هستند. با این حال برخی مشاهدات نشان داده که در خاک‌های شور، غده‌زایی و تثبیت N_2 در برخی گیاهان دچار اختلال می‌گردد. رشد بسیاری از بقولات هنگامی که به صورت همزیست کشت شوند بیشتر کاهش می‌یابد تا زمانی که از کود ازتی استفاده شود. برخی از پژوهشگران بر این باورند که همزیستی قارچ‌های Mycorrhiz تحمّل گیاه به شوری را از طریق بهبود تغذیهٔ فسفری افزایش می‌دهد.

شوری خود مستقیماً باعث بروز بیماری‌های گیاهی نمی‌شود ولی گیاهان مبتلا به شوری ممکن است در معرض عوامل بیماری‌زا قرار گیرند. گزارش‌های موجود بیانگر آن است که شوری باعث افزایش پوسیدگی ریشه بر اثر حمله قارچ فایتوفترا[1] در گل‌داودی، مرکبات و گوجه‌فرنگی می‌گردد. اثر مشترک شوری و قارچ فایتوفترا موجب کوچک شدن میوه و کاهش شدید عملکرد می‌گردد. همچنین در خاک‌های شور، چنانچه خاک برای مدتی طولانی مرطوب باشد، احتمال بروز بیماری‌های قارچی افزایش می‌یابد. بدیهی است که زهکشی نامطلوب خطرات یادشده را تشدید می‌کند.

۴-۲-۵- شرایط فیزیکی خاک

شرایط فیزیکی خاک نیز می‌تواند اثرات ناشی از شوری را بر گیاه تحت تأثیر خود قرار دهد. مثلاً ساختمان ضعیف خاک و یا وجود لایه‌های کم‌نفوذپذیر در نیمرخ خاک رشد ریشه‌ها را محدود کرده و حرکت و توزیع آب و املاح را تحت تأثیر قرار می‌دهند. تشکیل لایهٔ نمکی در سطح خاک نیز به صورت مانعی فیزیکی عمل کرده و جوانه‌زنی بذر و استقرار گیاه نوپا را مختل می‌سازد.

---

1 -Phytophthora

۴-۲-۶- حاصلخیزی خاک

در اراضی فاریاب، به منظور دستیابی به حداکثر عملکرد از کودهای شیمیایی استفاده می‌شود. اما گاهی به دلیل گرانی کود و یا فراهم نشدن آن در زمان مورد نیاز گیاه، ممکن است به مقدار کافی در اختیار گیاه قرار نگیرد. چنانچه گیاه در شرایطی رشد یابد که مقدار کافی عناصر غذایی در خاک موجود نباشد، ممکن است حاصلخیزی خاک، و نه شوری آن، نخستین عامل محدود کنندهٔ رشد گیاه باشد. به طور کلّی، مصرف بهینهٔ کود موجب افزایش عملکرد می‌گردد، قطع نظر از اینکه خاک شور بوده یا نه ولی مسلماً این افزایش هنگامی که خاک شور نباشد بیشتر است. مطالعات Bernestien و همکاران (۱۹۷۴) نشان می‌دهد که اثر شوری و تنش تغذیه‌ای جمع‌پذیر است، مشروط بر آنکه هیچیک از تنش‌ها به صورت بحرانی نباشند. هنگامی که عملکرد بر اثر فقر غذایی و یا شوری به طور مشابهی کاهش یافته باشد، کاهش شوری و یا مصرف کود، افزایش عملکرد را در برخواهد داشت. اما چنانچه اثر یکی از این دو تنش در کاهش عملکرد بیش از دیگری باشد، جلوگیری از تنشی که شدیدتر است عملکرد را بیشتر افزایش می‌دهد تا تنشی که سهم کمتری در کاهش عملکرد دارد. بنابراین، به هنگام وجود هر دو تنش شوری و فقر غذایی باید دقت نمود که آیا مصرف کود تحمّل گیاه به شوری را کاهش و یا افزایش می‌دهد. رابطهٔ کمّی واکنش گیاه به شوری تابعی است که عملکرد نسبی را به ازای مقادیر مختلف شوری نشان می‌دهد. تغییرات شوری در این تابع از صفر تا جایی است که بیشترین خسارت به گیاه وارد می‌شود. در شرایطی که شوری خاک اندک باشد، ممکن است فقر غذایی عامل عمدهٔ کاهش عملکرد باشد؛ و یا آنکه در شوری‌های بالاتر و با همان سطح حاصلخیزی، شوری عامل اصلی محدودکنندهٔ تولید باشد. بنابراین بسته به شدت شوری، مصرف کود ممکن است تحمّل گیاه را به شوری کاهش و یا افزایش دهد.

نکته دیگر اینکه در رابطهٔ فوق، مقاومت گیاه بر مبنای "عملکرد نسبی" سنجیده می‌شود، حال آنکه جهت ارزیابی سودمندی ناشی از مصرف کود باید "عملکرد واقعی" ملاک عمل قرار گیرد. مثلاً، ممکن است که مصرف کود تحمّل گیاه را کاهش دهد، ولی اگر مقدار عملکرد مطلق را افزایش دهد، مصرف آن مفید خواهد بود. با این حال به جز در

شرایطی که شوری منجر به بروز نابسامانی تغذیه‌ای می‌گردد، مصرف کود به اندازه‌ای که در شرایط غیر شور برای رشد گیاه لازم است، به ندرت قادر به جلوگیری از اثرات شوری بر رشد و عملکرد گیاه است. اطلاعات جمع‌آوری شده توسط Grattan و Grieve (۱۹۹۹) نشان می‌دهد که مصرف N، P و K به میزانی اندک مقاومت گیاهان را به شوری افزایش می‌دهد.

۴-۳- اقلیم و کیفیت هوا

بدون شک شرایط اقلیمی، اگر نگوییم بیشتر ولی به اندازهٔ سایر عوامل، واکنش گیاه به شوری را تحت تأثیر قرار می‌دهد. چنانچه هوا سرد باشد، بیشتر گیاهان می‌توانند شوری‌های بالاتری را تحمل کنند. اثر تلفیقی شوری در شرایطی که نیاز تبخیری بالا، دما زیاد، رطوبت نسبی کم و خشکی و باد زیاد باشد، به مراتب تنش بیشتری بر گیاه وارد می‌کند تا خود شوری به تنهایی. چون اقلیم اثر مهمی بر واکنش گیاه به شوری دارد، نتایج حاصل از آزمایشات متأثر از فصلی است که پژوهش طی آن صورت گرفته است. مثلاً چنانچه مقاومت سبزیجات زمستانی به شوری در فصل گرم و خشک ملاک قرار گیرد، تحمل واقعی آنها دست‌کم گرفته خواهد شد. زیرا سبزیجات زمستانی قادرند در شرایط طبیعی رشد خود، یعنی در هوای سرد که نیاز تبخیری هوا کمتر است، مقاومت بیشتری داشته باشند.

عملکرد بسیاری از محصولات بر اثر آلودگی هوا نیز کاهش می‌یابد. پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد که وجود O_3 که یکی از عوامل مهم آلودگی هوا به شمار می‌آید، عملکرد گیاهان کشت شده در خاک‌های غیر شور را بیشتر از خاک‌های شور کاهش می‌دهد. افزایش غلظت CO_2 هوا نیز بر واکنش گیاه به شوری مؤثر است. برخی مطالعات نشان می‌دهد که با زیاد شدن غلظت CO_2 مقاومت لوبیا، ذرت، آتریپلکس، رُز و یونجه به شوری افزایش می‌یابد. نکتهٔ قابل تذکر در این پژوهش‌ها این است که از غلظت‌های بسیار زیاد گازکربنیک (حدوداً ۲۵۰۰ µL/L) که چندین برابر غلظت متعارف آن در طبیعت است استفاده شده است.

۴-۴- عوامل گیاهی

۴-۴-۱- سن گیاه

حساسیّت گیاه به شوری در طول فصل رشد دائماً تغییر می‌کند. بیشتر گیاهان در مرحلهٔ جوانه زدن[1] مقاوم هستند ولی در مرحله گیاهچه[2] و مراحل اولیهٔ پس از آن حساس بوده و در معرض آسیب می‌باشند. چنانچه گیاه در خاک استقرار یابد، با گذشت زمان و در مراحل بعدی رشد به شوری مقاوم‌تر می‌شود. بنابراین، اگر گیاه بتواند مرحله "گیاهچه" تا "رشد اوّلیه" را در یک خاک شور با موفقیت پشت سر گذاشته و در آن استقرار یابد، با افزایش سن، مقاومت آن به شوری افزایش خواهد یافت. به عبارت دیگر، هر چه گیاه در مراحل آغازین‌تر رشد خود به شوری مبتلا شود، با کاهش عملکرد بیشتری مواجه خواهد شد. اولین اثر شوری بر گیاه تأخیر در جوانه زدن و ایجاد گیاهچه است. چنانچه افزون بر شوری، تنش‌های دیگری مانند کم‌آبی، نوسان شدید گرما و لایهٔ نمکی در سطح خاک وجود داشته باشد، این تأخیر تشدید خواهد شد. معمولاً به دلیل وقوع فرآیند تبخیر از سطح خاک، شوری خاک در بستر بذر بیشتر از بخش‌های زیرین است. بنابراین ریشه‌های جوانِ برون آمده از بذر، در معرض شوری بیشتری از آنچه که از میانگین کلّ شوری در نیمرخ خاک محاسبه می‌شود، قرار دارند. زیان وارد شده در این مرحلهٔ حساس ممکن است تراکم گیاه را در واحد سطح کاهش داده و نهایتا مقدار عملکرد را به طوری معنی‌دار پایین بیاورد.

مقاومت گیاه به نمک در مرحله "استقرار جوانه"[3] به طوری قابل ملاحظه از گیاهی به گیاه دیگر متفاوت بوده و نیز با مفهوم "مقاومت" که بر مبنای "عملکرد" استوار است هیچ نوع همبستگی ندارد. زیرا مقاومت به هنگام استقرار جوانه به مفهوم "بقای گیاه" در یک شوری معیّن است، حال آنکه مقاومت گیاه پس از استقرار جوانه " عملکرد" را رقم می‌زند.

---

1 -Germination
2 -Seeding
3 -Emergence

اغلب پژوهش‌ها نشان می‌دهند که حساسیّت بیشتر گیاهان مانند گندم، جو، پنبه، برنج، گوجه‌فرنگی، ذرت و بادام‌زمینی در مرحلهٔ جوانه‌زنی بیشتر از مرحلهٔ استقرار جوانه است. متأسفانه اطلاعات کمّی دربارهٔ مقاومت گیاهان در مراحل جوانه‌زنی و استقرار جوانه بسیار محدود است، اما اغلب پژوهش‌ها نشان می‌دهند که هرچند که شوری خاک سبز شدن را به تأخیر می‌اندازد ولی چنانچه مقدار آن از حدّ آستانه برای گیاه بالغ تجاوز ننماید، درصد بذرهای سبز شدهٔ اغلب گیاهان کاهش نخواهد یافت.

گفتیم که با افزایش سن گیاه، مقاومت آن به شوری نیز افزایش می‌یابد. در آزمایش‌هایی که برای بررسی این موضوع بر روی سورگوم، گندم و لوبیا چشم بلبلی صورت گرفت مشخص گردید که حساسیّت این گیاهان به شوری در طی دورهٔ رویشی و مراحل اوّلیهٔ تولید محصول، بیشتر از مرحلهٔ گلدهی و آنهم بیشتر از مرحلهٔ پر شدن دانه‌هاست. در مرحلهٔ تشکیل سنبله یا خوشه، تنش شوری موجب تسریع رشد خوشه و کاهش تعداد سنبلک در گندم می‌شود. در هر حال این کاهش تا اندازه‌ای با افزایش تعداد بذر در سنبلک جبران می‌شود (Grieve و همکاران ، ۱۹۹۲). همچنین، Heeman و همکاران (۱۹۸۸) نشان دادند که کاهش عملکرد خوشهٔ برنج با کاهش تعداد گلچه در هر خوشه همبستگی مستقیم زیادی دارد.

مهمترین اثر شوری بر غلات درمرحلهٔ رشد رویشی و آغاز مراحل زایشی بوده که نتیجهٔ آن جلوگیری از تشکیل پنجه‌ها است. پژوهش‌ها نشان می‌دهند که تنش شوری تقریباً همهٔ پنجه‌های ثانویهٔ گندم را از بین برده و تعداد غلاف برگ و پنجه‌های اولیه را به شدت کاهش می‌دهد (Maas و همکاران، ۱۹۹۴). پنجه‌های اوّلیه‌ای که بر روی برگ‌های اول و دوم استقرار یافته‌اند کمترین حساسیّت را به شوری دارند. کاهش محصول عمدتاً بر اثر کاهش تعداد سنبلک و تا اندازهٔ کمتری بر اثر کاهش تعداد دانه در سنبله است.

نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که مقاومت غلات به شوری پس از گذر از مرحلهٔ ساقه رفتن افزایش یافته به نحوی که گیاه در مرحلهٔ گلدهی عملاً حساس نمی‌باشد. اطلاعات موجود در مورد برنج ضد و نقیض است. مثلاً گزارش‌های اولیه Pearson و Bernstein

(۱۹۵۹) نشان داده بود که برنج در مرحلهٔ گرده‌افشانی و لقاح حساس است، اما پژوهش‌های Kaddah و همکاران (۱۹۷۳ و ۱۹۷۵) این موضوع را تأیید نکردند. یک دلیل برای این اختلاف را می‌توان در پژوهش‌های Akbar وYabuno (۱۹۷۷) یافت. این پژوهندگان دریافتند که شوری خاک منجر به عقیم شدن خوشه‌ها در بعضی از واریته‌های برنج گردیده و بر برخی دیگر بی‌اثر است. Khatun و Flower (۱۹۹۵) نیز نشان دادند که اثر شوری بر عملکرد دانهٔ برنج بیش از اثر آن طی دورهٔ رویشی است؛ زیرا وجود شوری منجر به تأخیر گلدهی، کاهش تعداد پنجه‌های بارور، کاهش گل‌های لقاح یافته در هر خوشه و کاهش وزن دانه می‌گردد. این پژوهندگان همچنین نتیجه‌گیری کردند که اختلافات ژنتیکی ارقام مختلف، تعیین کنندهٔ تأثیر شوری بر فیزیولوژی زایش و رشد برنج است.

۴-۴-۲- نوع وگونه گیاهی

آمار و ارقام موجود در مورد مقاومت بیشتر گونه‌های گیاهی مبتنی بر نتایج به دست آمده از یک یا دو رقم یا واریته است. با این حال اطلاعات موجود بیانگر آن است که اغلب واریته‌های مربوط به یک گونهٔ گیاهی مقاومت نسبتاً یکسانی به شوری دارند. این مطلب به صورت مطلق صادق نیست زیرا پژوهش‌ها نشان می‌دهند که مقاومت ارقام در برخی گونه‌ها بسیار متفاوت است (Shannon و Noble، ۱۹۹۰). به هرحال این مطلب هنوز روشن نیست که آیا این تفاوت‌ها مربوط به "مقاومت گیاهان" به شوری و یا مربوط به "سازگاری گیاهان" به شرایط محیطی یا تغذیه‌ای است که در آن رشد می‌یابند. در مورد درختان میوه و به ویژه انگور، این تفاوت‌ها بیشتر به چشم می‌خورند، به نحوی که مقاومت آنها شدیداً به نوع رقم و واریته بستگی دارد. از نتایج پژوهش‌ها چنین به نظر می‌آید که مبنای مقاومت ارقام مختلف، توانایی آنها در تنظیم جذب Na^+ و Cl^- می‌باشد، بدین ترتیب که هر چه توانایی گیاه در جلوگیری از جذب Na^+ و Cl^- بیشتر باشد، مقاومت بیشتری از خود بروز خواهد داد.

۴-۵- عملیات کشاورزی

۴-۵-۱- روش آبیاری

روش آبیاری می‌تواند واکنش گیاه را به شوری تحت تأثیر قرار دهد، زیرا اولاً توزیع نمک در خاک را از خود متأثر ساخته، ثانیاً مشخص می‌کند که آیا برگ‌ها مرطوب خواهند شد یا نه (در آبیاری بارانی) و ثالثاً بیانگر آن است که دسترسی به پتانسیل آبی[1] بالا در خاک تا چه حد امکان‌پذیر می‌باشد. بدیهی است آن دسته از روش‌های آبیاری که موجب نگهداری پتانسیل آبی بالاتری در خاک می‌شوند، رشد بهینهٔ گیاه را تضمین خواهند کرد.

بر خلاف روش‌های آبیاری سطحی، روش‌های تحت فشار به ویژه روش بارانی با بکار گرفتن مقدار کمتری آب می‌توانند توزیعی یکنواخت‌تر در سطح مزارع داشته باشند. در روش‌های آبیاری سطحی، برای دستیابی به چنین توزیع یکنواختی، باید مقدار حداقلی آب به کار رود که این حداقل ممکن است بیش از برداشت آب توسط تبخیر وتعرق باشد و بدین ترتیب منجر به تلفات زهکشی به مقدار غیر ضروری گردد. بنابراین، روش‌های آبیاری تحت فشار برای دسترسی به توزیع یکنواخت آب و کاهش تلفات زهکشی مناسب‌تر از روش‌های سطحی هستند. البته نباید فراموش کرد که در صورت استفاده از آبیاری بارانی گیاهان از راه برگ‌های خود می‌توانند به آسانی املاح موجود در آب را جذب کنند و بدین ترتیب شاخ و برگ آنها مستقیماً آسیب ببینند.

۴-۵-۲- بستر بذر

نحوهٔ آراستن بستر بذر و چگونگی قرار گرفتن بذر در خاک بر جوانه‌زنی و استقرار آن در خاک‌های شور که به صورت شیاری آبیاری می‌شوند مؤثر است. اگر بذر، سطحی تخت داشته باشد، تهیهٔ بستر به صورت تک شیاری موجب آسیب رساندن شوری به آن می‌شود. زیرا نمک در مرکز بستر انباشته می‌شود. اما شیب‌دار کردن بستر بهترین شرایط ممکن را فراهم می‌آورد، زیرا بخش عمده‌ای از نمک به همراه جبههٔ رطوبتی به

1 -Hydraulic Potential

مرتفع‌ترین مکان بستر حرکت کرده و در آنجا تجمع می‌یابد. به طور کلّی، عملیاتی که می‌توانند اثر شوری را در بستر بذر در روش آبیاری شیاری به حداقل برسانند عبارتند از :

- نگهداری رطوبت زیاد در شیار،
- شیب دار کردن بستر بذر، و
- کاشت بذر در شیارهای دوگانهٔ V شکل با سطح صاف. اطلاعات بیشتر در این زمینه توسط Pasternak و De Malach (۱۹۹۴) ارائه شده است که خوانندگان برای پی‌گیری جزئیات می‌توانند به آن مراجعه کنند.

توزیع نمک در خاک، مانند آنچه که در بالا به آن پرداختیم، تا حدود زیادی به جهتِ جریان آب در خاک بستگی دارد. بدیهی است که انباشت نمک در نقطهٔ تماس آب آبیاری با خاک کمترین است، ولی در جهت جریان آب افزایش می‌یابد. پس از آبیاری، آب در جهتی حرکت می‌کند که تبخیر و یا تعرق صورت می‌گیرد؛ بنابراین، نمک در جایی تجمع می‌یابد که این پدیده‌ها رخ می‌دهند. Oster (۱۹۸۴) چگونگی توزیع نمک در روش‌های آبیاری شیاری، بارانی، قطره‌ای و قطره‌ای زیرزمینی را مورد بررسی قرار داده که علاقه‌مندان می‌توانند به آن رجوع کنند.

۵- روابط کمّی اثر شوری بر عملکرد

مقاومت گیاهان به شوری را می‌توان به صورت تابعی پیوسته از "عملکرد نسبی" نسبت به "شوری" به طور کمّی بیان کرد. شکل این تابع برای بسیاری از گیاهان به صورت سیگموییدی است ولی ممکن است گیاه پیش از آنکه مقدار محصول به صفر تنزل یابد بمیرد؛ بنابراین بهتر است بخش انتهایی این منحنی در نظر گرفته نشود. به همین منظور Maas و Hoffman (۱۹۷۷) پیشنهاد کرده‌اند که منحنی عملکرد به دو بخش خطی تقسیم شود. بدین ترتیب که شیب خط در بخش نخست صفر (خطی به موازات محور

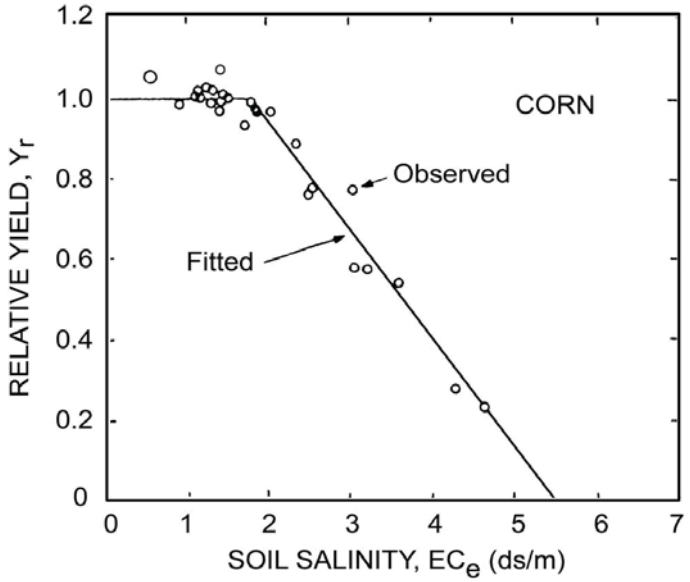
xها) و برای بخش دوم شیب خط نشان‌دهندهٔ مقدار افت عملکرد به ازای هر واحد شوری باشد. شکل ۴ نمای کلّی این مدل را برای ذرّت نشان می‌دهد.

گفتیم که شوری مفهومی وابسته به گیاه است و یک شوری معیّن ممکن است منجر به کاهش محصول در گیاهی گردد، حال آنکه برای گیاهان دیگر زیانی در برنداشته باشد. زیرا "حد تحمل گیاهان" مختلف به شوری متفاوت است. در نتیجه، برای کمّی کردن اثر شوری بر مقدار محصول می‌بایست برای هر گیاه، "حدی" را تعریف کرد که از آن "حد" به بعد کاهش محصول آغاز می‌گردد. اصطلاحاً به این حد "آستانه کاهش محصول"[1] گویند. محل برخورد دو خط با یکدیگر در شکل ۴، نشان‌دهندهٔ این آستانه است. بنابراین، آستانهٔ کاهش عملکرد، مقدار شوری است که پس از آن کاهش عملکرد آغاز می‌شود. این منحنی خطی دوتکه بر بسیاری از ارقام به دست آمده از آزمایش‌های شوری به خوبی برازش شده است. در این آزمایش‌ها، شوری خاک بر مبنای هدایت الکتریکی عصارهٔ اشباع و بر حسب دسی زیمنس بر متر (1dS/m=1mmho/cm) بیان شده است. چنانچه شوری خاک از آستانهٔ کاهش تجاوز نماید، محصول نسبی (Y_r) رامی‌توان از رابطهٔ زیر به دست آورد:

$$Y_r = 100 - b(EC_e - a) \qquad (۱)$$

که در آن a هدایت الکتریکی در آستانهٔ کاهش محصول (بر حسب dS/m)، b شیب خط (درصد کاهش عملکرد به ازای افزایش هر dS/m شوری خاک) و EC_e میانگین هدایت الکتریکی عصارهٔ اشباع خاک در منطقهٔ رشد ریشه است. آستانهٔ کاهش و شیب خط برخی گیاهان در جدول ۱ ارائه شده است.

1 -Threshold Value



شکل ۴- رابطهٔ شوری و عملکرد نسبی ذرّت.

اگر به جای هدایت الکتریکی از پتانسیل اسمزی محلول خاک در ظرفیت زراعی (OP_{fc}) استفاده شود، منحنی دو تکهٔ Maas وHoffman به صورت رضایت‌بخشی بر بسیاری از داده‌ها برازنده خواهد شد. چنانچه مقدار OP_{fc} معلوم باشد، مقدار عملکرد را می‌توان بر مبنای پتانسیل اسمزی که در حقیقت موجب آسیب دیدن گیاه می‌شود به صورت زیر بیان کرد:

$$Y_r = 100 - B(OP_{fc} - A) \qquad (۲)$$

که در آن A پتانسیل اسمزی در آستانهٔ کاهش عملکرد برحسب بار، B شیب خط و یا مقدار کاهش عملکرد به ازای افزایش هر واحد پتانسیل اسمزی و OP_{fc} پتانسیل اسمزی محلول خاک در رطوبت ظرفیت زراعی بر حسب بار می‌باشد.

هرچند که OP_{fc} تابعی خطی از EC_e نیست ولی معادلهٔ (۲) همانند (۱) رابطه‌ای خطی است. انحراف از خطی بودن اصولاً بسیار اندک است به نحوی که اختلاف عملکرد نسبی

در دو معادله حدود یک تا دو درصد است. بدیهی است که مقادیر A و B را با استفاده از مقادیر هدایت الکتریکی عصارهٔ اشباع خاک می‌توان به دست آورد:

$$A = -0.725(a)^{1.06} \qquad (۳)$$

$$B = \frac{100}{-0.725\frac{100+(ab)^{1.06}}{b} - A} \qquad (۴)$$

این روابط بر معادلهٔ $OP_{fc}= -۰/۷۲۵(EC_e)^{۱/۰۶}$ استوار است که خود نیز از شکل شمارهٔ (۶) کتابچهٔ ۶۰ وزارت کشاورزی امریکا به دست آمده است. به هنگام تبدیل، ابتدا فشار اسمزی در صفر درجه سانتیگراد (بر حسب اتمسفر) به پتانسیل اسمزی (بر حسب بار) در ۲۵^oC تبدیل شده و سپس فرض شده که غلظت املاح محلول در ظرفیت زراعی دو برابر غلظت در عصارهٔ اشباع خاک است. لازم به تذکر است که بیشتر ارقام به دست آمده از آزمایش‌های شوری بر حسب هدایت الکتریکی عصارهٔ اشباع خاک می‌باشند، لذا در دنبالهٔ بحث ما نیز از EC_e استفاده خواهیم کرد.

پرسش ۱- در یک آزمایش مزرعه‌ای، میانگین هدایت الکتریکی خاک در رطوبت ظرفیت زراعی (EC_{FC})، ۶dS/m تعیین شده است.

الف- آیا این خاک برای کشت یونجه شور است؟

ب- در صورت مثبت بودن پاسخ الف، حداکثر مقدار عملکرد یونجه در این شوری را برآورد کنید.

پاسخ ۱- **الف**- برای اینکه دریابیم که این خاک برای کشت یونجه شور است یا نه باید به مقدار شوری در آستانهٔ کاهش این گیاه در جدول ۱ مراجعه کنیم. براساس این جدول، آستانهٔ کاهش یونجه ۲dS/m است. اما همانطور که گفته شد شوری‌های ارائه شده در این جدول برحسب هدایت الکتریکی عصارهٔ اشباع خاک (EC_e) است. لذا باید

هدایت الکتریکی بیان شده در ظرفیت زراعی را به مقدار متناظر آن در رطوبت اشباع تبدیل کرد. به طور قراردادی فرض شده است که مقدار رطوبت در ظرفیت زراعی نصف رطوبت اشباع بوده و نیز غلظت املاح محلول خاک در ظرفیت زراعی دو برابر آن در رطوبت اشباع است. این فرض در حقیقت واکنش‌های حلالیت- رسوب را که برای نمک‌های مختلف متفاوت است، در نظر نمی‌گیرد. این واکنش‌ها بر اثر تناوب رقّت و تغلیظ محلول خاک بین دو آبیاری و یا بارندگی محقق می‌شوند. اما از آنجاییکه بررسی دقیق این فرآیندها و تأثیر آن‌ها بر مقدار عددی هدایت الکتریکی خاک بسیار دشوار است، لذا فرض فوق به صورت قراردادی پذیرفته شده است. بنابراین، برای حل این مسئله خواهیم داشت:

$$EC_e = \frac{1}{2} EC_{FC}$$

$$EC_e = \frac{1}{2}(6) = 3dS/m$$

چون آستانهٔ کاهش محصول یونجه ۲dS/m است، لذا این خاک برای یونجه شور به شمار می‌آید.

ب- برای حل این بخش از مسئله از رابطهٔ (۱) استفاده می‌کنیم. برای استفاده از این رابطه باید مقادیر a و b مشخص شوند. با مراجعه به جدول ۱ این مقادیر به ترتیب ۲dS/m و ۷/۳ می‌باشند. بنابراین خواهیم داشت:

$$Y_r = 100 - b(EC_e - a)$$

$$Y_r = 100 - 7.3(3 - 2)$$

$$Y_r = 92.7$$

بنابراین، چنانچه میانگین هدایت الکتریکی عصارهٔ اشباع خاک در طول دورهٔ رشد ۳dS/m باشد، به میزان ۷/۳ درصد از محصول کاسته می‌شود و این همان مفهوم فیزیکی شیب خط در معادلهٔ (۱) است. به عبارت دیگر، شیب خط (b) بیانگر درصد کاهش عملکرد به ازای افزایش هر واحد شوری (dS/m) پس از آستانه کاهش محصول (a) است.

پرسش ۲- به ازای چه مقدار شوری (هدایت الکتریکی عصارهٔ اشباع خاک)، مقدار محصول یونجه به صفر می‌رسد؟

پاسخ ۲- ابتدا معادلهٔ (۱) را برحسب EC_e می‌نویسیم:

$$EC_e = \frac{100 + ba - Y_r}{b}$$

$$EC_e = \frac{100 + (7.3 \times 2) - 0}{7.3} = 15.7 dS/m$$

بنابراین، برمبنای معادلهٔ (۱) چنانچه هدایت الکتریکی عصارهٔ اشباع خاک ۱۵/۷dS/m یا بیش از آن باشد، گیاه یونجه هیچ محصولی تولید نخواهد کرد. مشاهدات مزرعه‌ای نشان داده است که چنین امری چندان صحت ندارد. زیرا در شوری‌های زیادتر از آنچه که معادلهٔ (۱) برای صد در صد کاهش محصول برآورد می‌کند، گیاه به فعالیت‌های بیولوژیک خود ادامه می‌دهد، ولی شدت این فعالیت‌ها اندک است. این یکی از اشکالات معادلهٔ (۱) می‌باشد که از برون‌یابی خطی داده‌های موجود ناشی شده است. بنابراین، در شوری‌های بسیار بالاتر از آستانهٔ کاهش، دقت معادله کم می‌شود و ممکن است در شرایطی با واقعیت در تناقص باشد. اما از آنجاییکه در بسیاری از شرایط، کاهش محصول به میزانی بیش از ۵۰ درصد مقرون به صرفه نیست، بنابراین با اطمینان خاطر می‌توان از نیمهٔ اول معادلهٔ (۱) برای برآورد محصول استفاده نمود.

پرسش ۳- چنانچه هدایت الکتریکی عصارهٔ اشباع خاکی برابر با هدایت الکتریکی آستانهٔ کاهش محصول باشد($EC_e=a$)، مقدار عملکرد را برآورد کنید.

$$Y_r = 100 - b(EC_e - a)$$
$$EC_e - a = 0$$
$$Y_r = 100 - b(0)$$
$$Y_r = 100$$

بدین ترتیب ملاحظه می‌شود که در این صورت مقدار محصول حداکثر است.

در ارتباط با معادلهٔ (۱) ذکر دو نکتهٔ دیگر ضروری است. نخست اینکه براساس این رابطه، چنانچه هدایت الکتریکی عصارهٔ اشباع خاک صفر و یا بسیار اندک باشد (کمتر از آستانهٔ کاهش محصول)، مقدار محصول حداکثر (۱۰۰٪) قلمداد می‌شود. بدیهی است که در طبیعت چنین فرضی صحت ندارد. زیرا EC_e برابر با صفر به خودی خود بیانگر نبود هر نوع عنصر غذایی در خاک است و در چنین شرایطی سخن گفتن از حداکثر محصول بی‌مفهوم است. دوم اینکه مطالعات انجام شده توسط Van Genuchten و Hoffman (۱۹۸۴) و Van Genuchten و Gupta (۱۹۹۳) نشان می‌دهد که در بسیاری از شرایط، خطی بودن واکنش گیاهان به شوری به ویژه در شوری‌های خیلی بزرگتر از a صحیح نبوده (به مثال ۲ توجه کنید) و روند کلّی تغییرات غیر خطی است. از طرف دیگر، در شبیه‌سازی‌ها توابع بسیار دقیقی مورد نیاز است تا در شوری‌های مختلف مقدار عملکرد را برآورد کنند. بدیهی است همانگونه که پیشتر هم گفتیم، منحنی دقیق پاسخ گیاه، شکلی سیگموییدی و نه خطی دارد. به همین منظور، Van Genuchten و Hoffman (۱۹۸۴) مدل‌های غیر خطی فراوانی را مورد بررسی قرار داده و معادلهٔ زیر را برای شبیه‌سازی پیشنهاد کرده‌اند:

$$Y_r = \frac{Y_m}{1 + \left(\frac{EC}{EC_{50}} \right)^p} \qquad (۵)$$

که در آن: Y_m مقدار عملکرد در شرایط غیر شور، EC میانگین شوری در ناحیهٔ رشد ریشه، EC_{50} میانگین شوری خاک که منجر به کاهش ۵۰٪ عملکرد می‌شود ، وP یک ضریب تجربی است. EC و EC_{50} را می‌توان هم بر مبنای هدایت الکتریکی و هم پتانسیل اسمزی بیان کرد. این مدل نیز همانند معادلهٔ (۱) تنها به دو پارامتر نیاز دارد. توجه داشته باشید که در این رابطه، شوری خاک در آستانهٔ کاهش منظور شده است.

۶- روابط کمّی اثر توأمان شوری و کم‌آبی بر عملکرد

۶-۱- کلیّات

در بسیاری از نقاط خشک و نیمه خشک جهان که به شوری مبتلا هستند، مشکل کم‌آبی نیز وجود دارد و اغلب گیاهان به طور همزمان تحت تأثیر هر دو تنش شوری و کم‌آبی قرار دارند. یکی از پرسش‌های مهم در چنین مناطقی این است که گیاهان چگونه به هردوی این تنش‌ها پاسخ می‌دهند و آیا اصولاً می‌توان چنین پدیده‌ای را به صورت کمّی بیان کرد؟ هرچند که پژوهش‌های اولیه در این زمینه به حدود ۶۰ سال پیش برمی‌گردد، لیکن بیان کمّی آن همچنان دشوار و پیچیده باقی مانده است. زیرا، متغیرهای فراوانی عملکرد را تحت تأثیر قرار داده که خود نیز در زمان و مکان ثابت نبوده و همواره دچار تغییر می‌گردند. قطع‌نظر از اینکه تنش موجود کم‌آبی است یا شوری، بهترین روش کمّی کردن جذب آب به وسیلهٔ گیاهان، استفاده از معادلهٔ کلّی جریان یا معادلهٔ ریچاردز (Richards، ۱۹۳۱) است که به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z}\left[K(h)\frac{\partial h}{\partial z} + K(h) \right] - S \qquad (۶)$$

که در آن θ رطوبت حجمی خاک، t زمان، z عمق، K ضریب آبگذری غیر اشباع خاک، h پتانسیل ماتریک و S مقدار آب جذب شده به وسیلهٔ ریشهٔ گیاه در واحد حجم خاک و زمان است.

شاید مهم‌ترین جزء این معادله برای سیستم‌هایی که از خاک، آب و گیاه تشکیل شده‌اند، S باشد که در حقیقت مقدار آب برداشت شده از خاک توسط گیاه را نشان می‌دهد. بدین ترتیب ملاحظه می‌شود که S، بخش مهمی از بیلان آبی را در اراضی تحت کشت تشکیل می‌دهد و تعیین و یا تخمین آن به صورت کمّی از نقطه‌نظر تولید محصولات

زراعی اهمیتی فراوان دارد. برای بیان کمّی S، مدل‌ها[1] یا نمونه‌هایی وجود دارد که می‌توان آن را به دو گروه خُرد[2] و کلان[3] تقسیم کرد. نمونه‌های خرد بر این پایه استوارند که آهنگ جذب آب توسط گیاه با ضریب آبگذری خاک و تفاوت پتانسیل ماتریک در سطح ریشه‌ها و خاک پیرامون آن متناسب است. در این تعریف، هر ریشهٔ مجزا به عنوان استوانه‌ای صاف و یکنواخت با طول بی‌نهایت در نظر گرفته می‌شود که خصوصیات آن از نظر جذب آب در هر مقطع فرضی دقیقاً برابر سایر نقاط است. در چنین حالتی، جریان شعاعی آب را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}[rK(h)\frac{\partial h}{\partial r}] \qquad (۷)$$

که در آن؛ r شعاع از مرکز ریشه، θ رطوبت خاک، h پتانسیل ماتریک خاک، K(h) ضریب آبگذری به عنوان تابعی از پتانسیل ماتریک و t زمان است.

اکنون اگر جریان را ماندگار[4] پنداریم و فرض کنیم که آب از فاصلهٔ r_2 به سمت ریشه‌ای به شعاع r_1 جریان دارد، می‌توان شدت جذب آب توسط ریشه و در واحد طول آن (q_r) را با فرض ثابت بودن K به صورت زیر نوشت:

$$q_r = \frac{2\pi K(h - h_r)}{\ln(\frac{r_2}{r_1})} \qquad (۸)$$

که در آن h_r پتانسیل ماتریک سطح خارجی ریشه است.

---

1 -Models
2 -Microscopic Models
3 -Macroscopic Models
4 -Steady State

بدیهی است که برای لایه‌ای مشخص از منطقهٔ رشد ریشه به ضخامت Δz و طول مشخصی از ریشه (L) که در حجم معینی از خاک (V) قرار گرفته، آهنگ برداشت آب (ΔV_r) عبارت است از:

$$\Delta V_r = L\Delta z q_r \qquad (۹)$$

و چنانچه لایهٔ موردنظر در عمق Z باشد:

$$\Delta V_r = \frac{2\pi}{\ln(\frac{r_2}{r_1})} LK(h - h_r - Z)\Delta z \qquad (۱۰)$$

و یا:

$$\Delta q_r = BKL(h - h_r - Z)\Delta z \qquad (۱۱)$$

که در آن B برابر با $2\pi/[\ln(r_2/r_1)]$ بوده و در حقیقت بیانگر شاخص بدون بعد توزیع هندسی ریشه است.

مقاومت خاک در برابر جذب آب (R_s) نیز عبارت است از:

$$R_s = \frac{1}{BLK} \qquad (۱۲)$$

بدیهی است که از تقسیم شدت جذب آب بر لایهٔ موردنظر (Δz)، مقدار S در معادلهٔ (۶) به دست می‌آید:

$$S = \frac{\Delta q_r}{\Delta z} = BLK(h - h_r - Z) \qquad (۱۳)$$

معادلهٔ اخیر، معادلهٔ عمومی نمون‌های خُرد است که نخستین بار توسط گاردنر ۱۹۶۰ (Gardner) ارائه گردید. اشکال عمدهٔ نمون‌های خُرد به غیر کاربردی بودن آنها مربوط می‌شود، زیرا دستیابی به کمیّت‌هایی نظیر B و h_r در حال حاضر غیر ممکن است. افزون بر این، فرض یکنواخت بودن همهٔ مکان‌های جذبی در سطح ریشه و یا ماندگار بودن جریان آب که از پایه‌های اساسی این نمون‌ها است با واقعیت منطبق نیست. همچنین نباید فراموش کرد که به دلیل غیر عملی بودن تعیین کمیّت‌های مورد نیاز، تاکنون این نمون‌ها به بوتهٔ آزمایش گذاشته نشده‌اند. به همین جهت گروه دیگری از مدل‌ها که به نمون‌های کلان شهرت دارند معرفی گردیدند. مزیت عمدهٔ مدل‌های کلان در امکان تعیین پارامترهای مورد نیاز آنها است. در این نمون‌ها، مقدار برداشت آب توسط گیاه با مقدار تعرق واقعی[1] از حجم محدودهٔ رشد ریشه برابر فرض می‌شود. بنابراین، هنگامی که هیچگونه محدودیت آبی در خاک وجود نداشته باشد، مقدار آب جذب شده توسط گیاه معادل تعرق پتانسیل[2] بوده و معادلهٔ کلی آن به صورت زیر است:

$$S = S_{max} = \frac{T_p}{Z_r} \qquad (۱۴)$$

که در آن Z_r عمق توسعهٔ ریشه و T_p تعرق پتانسیل است.

حال اگر خاک نتواند نیاز آبی گیاه را برای حداکثر تعرق (T_p) فراهم آورد، به اندازهٔ α که به آن تابع کاهش[3] گوییم از تعرق کاسته می‌شود:

$$S = \alpha S_{max} = \alpha . \frac{T_p}{Z_r} \qquad (۱۵)$$

---

1 -Actual Transpiration

2 -Potential Transpiration

3 -Reduction Function

معمولاً α خود تابعی از پتانسیل ماتریک خاک بوده و آن را به صورت $\alpha(h)$ نشان می‌دهند.

بدین ترتیب α خود چیزی جز جذب نسبی آب[1] توسط ریشهٔ گیاه نیست:

$$\alpha = \frac{S}{S_{max}} \qquad (۱۶)$$

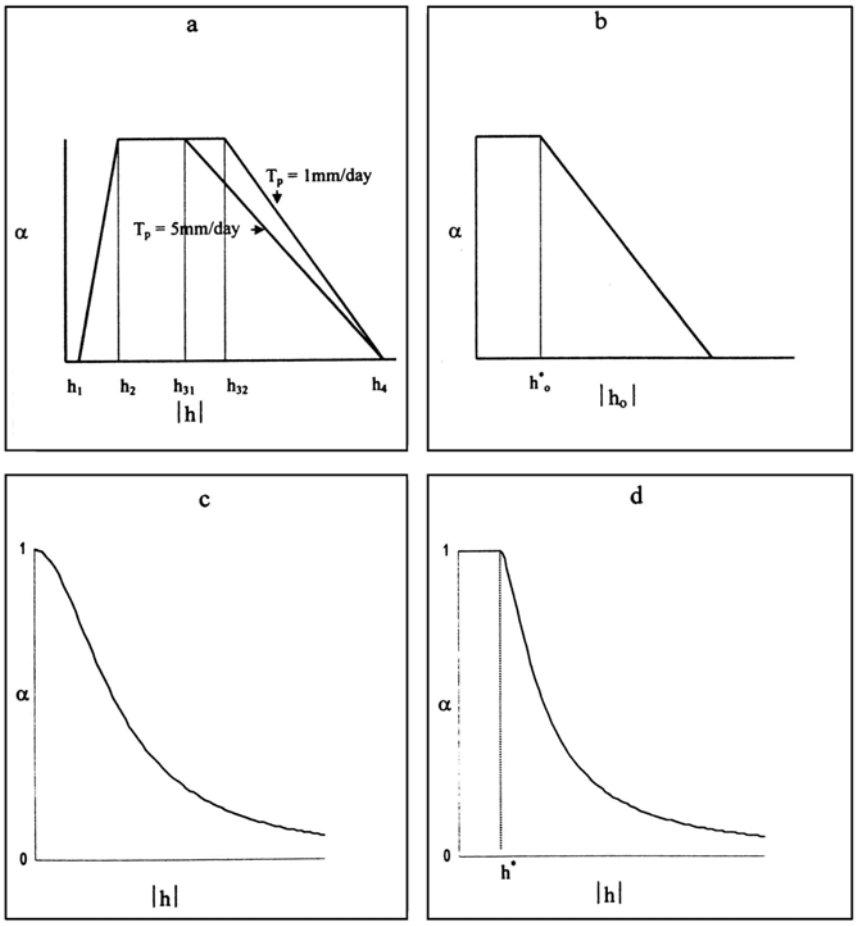
بدیهی است که مجموع Sهای مربوط به نواحی مختلف رشد ریشه برابر با تعرق واقعی (T_a) است:

$$T_a = \int_{z=0}^{z=z_r} S.dz \qquad (۱۷)$$

معادلهٔ (۱۵)، شکل عمومی مدل‌های کلان است که نخستین بار توسط Feddes و همکاران (۱۹۷۸) ارائه گردید و عمومیت بیشتری دارد. زیرا، تابع α در آن به خوبی تعریف شده و در بسیاری از کاربردها موفق بوده است. نمای کلّی ضریب کاهش (α) به عنوان تابعی از قدر مطلق پتانسیل ماتریک $|h|$ در شکل ۵- a نشان داده شده است. برمبنای این شکل، مقدار جذب در حد فاصل $|h_2|$ و $|h_3|$ حداکثر است. با افزایش قدر مطلق h از $|h_3|$ به $|h_4|$ که همان پتانسیل ماتریک خاک در رطوبت نقطهٔ پژمردگی است، مقدار جذب آب به صورت خطی کاهش یافته و سرانجام به صفر می‌رسد. جذب آب در $|h_1|$ که در آن خاک اشباع است، به جهت کمبود اکسیژن صفر است. همچنین $|h_3|$ خود تابعی از نیاز تبخیری[2] نیوار بوده و با افزایش این نیاز مقدار $|h_3|$ کاهش می‌یابد (شکل ۵- a).

1 -Relative Uptake

2 -Evaporative Demand



شکل ۵– نمای عمومی مدل‌های: a– فدس و همکاران، b– ماس و هافمن، c– وان‌گنوختن و d– دیرکسن و همکاران.

یکی دیگر از توابعی که برای ضریب کاهش در معادلهٔ (۱۵) معرفی شده، رابطه‌ای است سیگموییدی که توسط وان‌گنوختن ۱۹۸۷ (Van Genuchten) پیشنهاد شده است:

$$\alpha(h) = \frac{1}{1+\left(\frac{h}{h_{50}}\right)^{P}} \qquad (۱۸)$$

که در آن h_{50}، مکشی از خاک است که در آن جذب آب توسط گیاه نصف می‌شود و P ضریبی است تجربی.

دیرکسن و همکاران (۱۹۹۳) معادلهٔ (۸) را نسبت به مقدار پتانسیل ماتریک در آستانهٔ کاهش[1] h^* تعدیل کرده و آن را به صورت زیر ارائه کرده‌اند:

$$\alpha(h) = \frac{1}{1+\left(\frac{h^* - h}{h^* - h_{50}}\right)^{P}} \qquad (۱۹)$$

همانطور که از معادله پیدا است، بالا و پایین مخرج کسر نسبت به h^* تعدیل شده است.

۶-۲- مدل‌های جذب آب در خاک‌های شور

اگر در مدل‌های کلان به جای $\alpha(h)$ بتوانیم ضریب کاهش را به صورت تابعی از پتانسیل اسمزی محلول خاک $(h_\circ)$ در رابطهٔ (۱۵) قرار دهیم و آن را نیز به شکلی مناسب تعریف کنیم، معادلهٔ عمومی برداشت آب در شوری‌های مختلف به دست می‌آید:

$$S = \alpha(h_\circ)S_{max} = \alpha(h_\circ)\frac{T_P}{Z_r} \qquad (۲۰)$$

توابعی که برای $\alpha(h_\circ)$ پیشنهاد شده‌اند منحصر به روابطی هستند که توسط Maas و Hoffman (۱۹۷۷)، Van Genuchten و Hoffman (۱۹۸۴)، Dirksen و همکاران (۱۹۹۳) و Homaee (۱۹۹۹) ارائه گردیده‌اند و به شرح زیر می‌باشند:

---

1 -Pressure Head Threshold Value

ماس و هافمن (۱۹۷۷) تابعی خطی و دو تکه ارائه کرده‌اند که برمبنای آن تا پیش از آستانهٔ کاهش شوری ($h_{\circ}^{*}$) هیچگونه کاهشی در جذب آب پدید نمی‌آید اما با افزایش فشار اسمزی $h_{\circ}$ مقدار جذب به طور خطی کاهش می‌یابد. نمای کلّی این تابع در شکل ۵-b به نمایش درآمده و خود تابع به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\alpha(h_{\circ}) = 1 - \frac{a}{360}(h_{\circ}^{*} - h_{\circ}) \qquad (۲۱)$$

که در آن α شیب خط و ۳۶۰ ضریبی است که شوری خاک (dS/m) را به فشار اسمزی متناظر خود برحسب سانتیمتر آب تبدیل می‌کند. توجه داشته باشید که این معادله شکل دیگری از معادلهٔ (۱) بوده که در اینجا به صورت یک تابع کاهش بکار گرفته شده است.

وان‌گنوختن و هافمن (۱۹۸۴) معادله‌ای نظیر رابطهٔ (۱۸) برای جذب آب از خاک‌های شور پیشنهاد کرده‌اند که در آن به جای پتانسیل ماتریک (h) فشار اسمزی ($h_{\circ}$) گنجانده شده است:

$$\alpha(h_{\circ}) = \frac{1}{1 + \left(\frac{h_{\circ}}{h_{\circ 50}}\right)^{P}} \qquad (۲۲)$$

که در آن $h_{\circ 50}$ مقدار فشار اسمزی است که در آن جذب آب ۵۰ درصد کاهش می‌یابد، P نیز ضریبی تجربی است که با توان معادلهٔ (۸) تفاوت اساسی دارد. این تابع نیز شکل تغییر یافتهٔ معادلهٔ (۵) است.

دیرکسن و همکاران (۱۹۹۳) معادلهٔ (۲۲) را نسبت به آستانهٔ کاهش شوری ($h_{\circ}^{*}$) تعدیل کرده و معادله‌ای نظیر رابطهٔ ۱۹ ارائه کرده‌اند:

$$\alpha(h_{\circ}) = \frac{1}{1+\left(\frac{h_{\circ}^{*} - h_{\circ}}{h_{\circ}^{*} - h_{\circ 50}}\right)} \qquad (۲۳)$$

نمای عمومی معادلات ۲۱، ۲۲ و ۲۳ به ترتیب در شکل‌های ۵- b، ۵- c و ۵- d نشان داده شده‌اند.

۶-۳- مدل‌های جذب آب به هنگام وجود توأمان شوری و کم‌آبی

با کم شدن رطوبت خاک، پتانسیل ماتریک کاهش یافته و گیاه برای برداشت مقدار معینی آب باید انرژی حیاتی بیشتری مصرف کند. اما اغلب، گیاه چنین توانائی نداشته و در نتیجه جذب آب کاهش می‌یابد. از سوی دیگر با بالا رفتن غلظت املاح در محلول خاک، فشار اسمزی افزایش یافته و این نیز به نوبهٔ خود جذب آب توسط ریشه‌ها را کاهش می‌دهد. هر چند که اثر هر یک از این دو پدیده در کاهش جذب آب به تنهایی از مدت‌ها پیش شناسایی شده ولی این پرسش که به هنگام وجود توأمان این دو عامل جذب آب توسط گیاه به چه میزان کاهش می‌یابد برای مدت‌ها بی‌پاسخ مانده بود. بدیهی است که وجود هر یک از تنش‌های کم‌آبی و شوری، جذب آب را کاهش می‌دهند و وجود هر دو با هم این کاهش را تشدید می‌کند ولی شدت کاهش را چگونه می‌توان به صورت کمّی بیان کرد؟ پیچیدگی این مسئله هنگامی دوچندان می‌شود که بدانیم پتانسیل‌های ماتریک و اسمزی در زمان و مکان دائماً در حال تغییر هستند. پیشگامان پژوهش در این زمینه چنین پنداشته بودند که با افزایش فشار اسمزی و کاهش پتانسیل ماتریک، انرژی آزاد آب در خاک کاهش می‌یابد و به هنگام وجود هر دو تنش با هم، کاهش جذب آب توسط گیاه مدلول کل کاهش انرژی آزاد آب در خاک است. هر چند که این نظریه که به آن نظریهٔ جمع‌پذیری[1] گویند در نگاه اول منطقی به نظر می‌رسد، لیکن تنها بخشی از واقعیت را که مربوط به خاک و نه گیاه است، در نظر می‌گیرد. بدیهی است که اجزای انرژی آب در خاک

1 -Additivity

جمع‌پذیرند و کل انرژی عبارت از جمع جبری اجزای آن است، ولی رفتار گیاه به ازای افزایش یک سانتیمتر فشار اسمزی با کاهش مکش ماتریک به اندازهٔ یک سانتیمتر یکسان نیست. یکی از دلایل این موضوع مربوط به آن است که به هنگام وجود شوری، گیاه می‌تواند خود را تا حدی با جرم اضافی موجود در سیستم (املاح محلول) سازگار کند که اصطلاحاً به آن سازگاری اسمزی[1] گویند و یا اینکه نفوذپذیری ریشه‌ها نسبت به آب شور افزایش می‌یابد. حال آنکه کم‌آبی (پتانسیل ماتریک کم) به مفهوم نبود جرم در سیستم است و گیاه در چنین شرایطی سازگاری چندانی بروز نمی‌دهد. بنابراین، هر چند که فشار اسمزی و پتانسیل ماتریک هر یک به نوعی انرژی آب در خاک را دستخوش تغییر می‌کنند ولی وجود یکی ناشی از فراوانی جرم در محیط ریشه و دیگری به معنای نبود آن است. بدیهی است که پاسخ گیاه به این دو یکسان نخواهد بود. پژوهش‌های اولیه نیز نشان داده بود که جمع‌پذیری سادهٔ پتانسیل‌ها فرآیند جذب آب را توضیح نمی‌دهد و بنابراین پیروان این مکتب ضرایبی را برای هر یک از پتانسیل‌ها در نظر گرفتند که هیچگاه چنین ضرایبی نه تعریف شده و نه عملاً بدست آمد. ضمن آنکه واضعین این نظریه از ارائه مدلی کمّی برای آن ناتوان ماندند. تنها اقدام انجام شده در گروه مدل‌های کلان مربوط به معادلهٔ (۱۸) است که در آن پتانسیل اسمزی به طور ساده با پتانسیل ماتریک جمع گردید ولی هیچگاه به کار گرفته نشد:

$$\alpha(h,h_{\circ}) = \frac{1}{1+\left[\frac{a_1 h + a_2 h_{\circ}}{h_{50}}\right]^{P}} \qquad (۲۴)$$

باید توجه داشت که معادلهٔ اخیر یک ضریب کاهش است که مربوط به گروه نمون‌های کلان می‌باشد. a_1 و a_2 نیز ضرایبی هستند که برای در نظر گرفتن سهم هر یک از تنش‌ها بکار گرفته شده‌اند و جمع پتانسیل‌ها به h_{50} و نه $h_{\circ 50}$ تقسیم شده است. از آنجاییکه

1 -Osmotic Adjustment

تعریف درستی از a_1 و a_2 در دست نیست معمولاً آنها را با یکدیگر برابر و هر یک را برابر واحد در نظر می‌گیرند ($a_1=a_2=1$).

چون چنین معادلاتی اصولاً قادر به توضیح پدیدهٔ جذب آب توسط گیاه نیستند، Van Genuchten (۱۹۸۷) پیشنهاد کرد که ضریب کاهش مربوط به کم‌آبی و شوری را که به طور جداگانه تعریف شده‌اند در یکدیگر ضرب کنند. به این نظریه، ضرب‌پذیری[1] گویند که مربوط به نمون‌های کلان است نه خُرد. تذکر این مطلب ضروری است که عمل ضرب در جبر خود بیان دیگری از عمل جمع است و از هم اکنون می‌توان انتظار داشت که این نظریه نیز چندان توفیقی به ارمغان نیاورد. با این حال، مزیت عمدهٔ آن نسبت به نظریهٔ جمع‌پذیری آن است که چون مربوط به نمون‌های کلان است، می‌توان ضرایب جداگانهٔ کاهش را به آسانی در یکدیگر ضرب کرد و لااقل توابعی را به صورت کمّی تعریف و پارامترهای مورد نیاز را عملاً بدست آورد. نمون‌های موجود عبارتند از:

$$\alpha(h,h_{\circ})=\frac{1}{1+\left(\frac{h}{h_{50}}\right)^{P_1}}\times\frac{1}{1+\left(\frac{h_{\circ}}{h_{\circ 50}}\right)^{P_2}} \qquad (۲۵)$$

$$\alpha(h,h_{\circ})=\frac{1}{1+\left(\frac{h^{*}-h}{h^{*}-h_{50}}\right)^{P_1}}\times\frac{1}{1+\left(\frac{h_{\circ}^{*}-h_{\circ}}{h_{\circ}^{*}-h_{\circ 50}}\right)^{P_2}} \qquad (۲۶)$$

توجه داشته باشید که معادلهٔ (۲۵) از ضرب معادلات (۱۸) و (۲۲) در یکدیگر و معادلهٔ (۲۶) از ضرب معادلات (۱۹) و (۲۳) به وسیله وان‌گنوختن (۱۹۸۷) و دیرکسن و همکاران (۱۹۹۳) در همدیگر بدست آمده‌اند.

1 -Multiplicativity

همائی (۱۹۹۹) پس از برشمردن نقاط ضعف نظریهٔ جمع‌پذیری، تئوری ضرب‌پذیری را نیز مورد انتقاد قرار داده و معتقد است که این نظریه بنیان فیزیکی نداشته و نمی‌تواند بین اجزای انرژی آب در خاک و اثر هر یک بر جذب آب توسط گیاه تمیز قائل شود. زیرا ضرایب کاهش مختلف وابسته به شوری و کم‌آبی می‌توانند منجر به نتیجهٔ واحدی گردند. مثلاً اگر $\alpha(h_\circ) = 0.25$ و $\alpha(h) = 0.5$ باشد، مقدار $\alpha(h,h_\circ)$ دقیقاً برابر همان مقدار برای $\alpha(h) = 0.25$ و $\alpha(h_\circ) = 0.5$ خواهد بود. وی سپس روش جدیدی را برای بیان اثر مشترک شوری و کم‌آبی به شرح زیر ارائه کرده است.

این روش اساساً مبتنی بر ترکیب معادلات خطی و غیر خطی وابسته به شوری با معادلهٔ خطی شماره (۱۵) بوده و با نظرات جمع‌پذیری و ضرب‌پذیری به طور بنیادی تفاوت دارد. اکنون ضریب کاهش مربوط به معادلهٔ (۱۵) و معادلهٔ (۲۱) را در شکل‌های ۶- a و ۶- b مجدداً به تصویر می‌کشیم. ضریب کاهش شکل ۶- b را می‌توان به سه بخش تقسیم کرد. بخش I شامل سه گوش h_1Ah_2 بوده که مربوط به پدیدهٔ کمبود اکسیژن در خاک به دلیل زیادی آب است. با فاصله گرفتن از رطوبت اشباع، مقدار h افزایش یافته و در h_2 مقدار α به حداکثر می‌رسد. بخش II مشتمل بر چهار گوش h_2ABh_3 بوده و قسمتی از تابع را نشان می‌دهد که در آن هیچگونه تنش آبی وجود ندارد. بخش III (سه گوش h_3Bh_4) نشان‌دهندهٔ تنش آبی است. چون این مدل اساساً برای شرایط غیر شور ارائه شده، بنابراین شیب خط Bh_4 برای شوری‌های برابر و یا کمتر از آستانهٔ کاهش (EC^*) معتبر است (شکل ۶-b). از سوی دیگر معادلهٔ (۲۱) برای خاک‌های شور و بدون هیچگونه تنش آبی بدست آمده است. بنابراین، مقدار کاهش ناشی از شوری را که از این معادله بدست می‌آید می‌توان مستقیماً در بخشی که در آن تنش آبی وجود ندارد (h_2ABh_3) اعمال کرد. اگر $\alpha(h_\circ) = 0.7$ باشد می‌توان آن را به صورتی که در شکل ۶- c نشان داده شده در بخش II وارد کرد. حال اگر فرض کنیم که هر واحد شوری خاک (dS/m) نقطهٔ پژمردگی (h_4) را معادل پتانسیل ماتریک برابر با

۳۶۰ سانتیمتر آب به جلو می‌اندازد، مقدار α به ازای افزایش هر واحد شوری مطابق شکل ۶- d خواهد بود و معادلهٔ حاکم بر آن عبارت است از:

$$\alpha(h,h_{\circ}) = \frac{h-(h_4-h_{\circ})}{h_3-(h_4-h_{\circ})}\ [1-\frac{a}{360}(h_{\circ}^{*}-h_{\circ})] \qquad (۲۷)$$

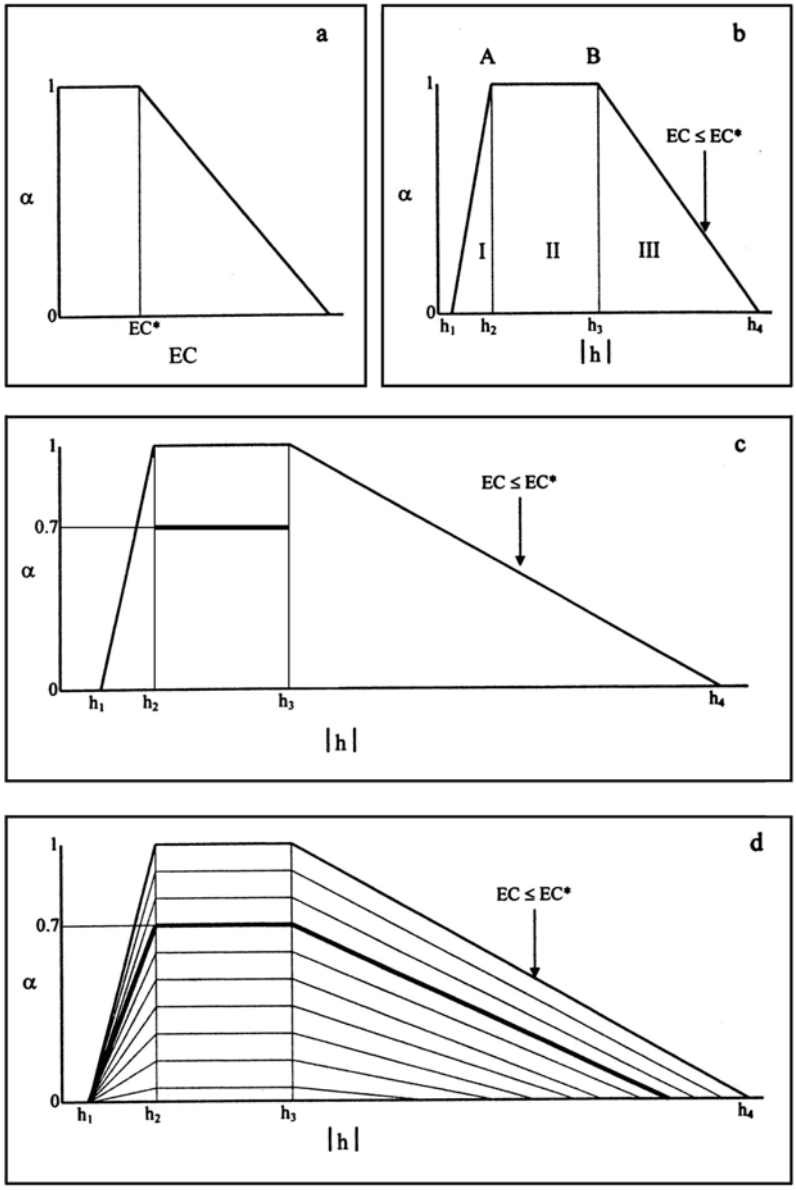
معادلهٔ اخیر در شرایط $h_{\circ} \le h_{\circ}^{*}$ و $(h_4-h_{\circ}) \le h \le h_3$ صادق است.

همان طور که گفته شد، روش پیشنهادی همائی (۱۹۹۹) می‌تواند هر یک از توابع غیر خطی وابسته به شوری را نیز در نظر گیرد که در این صورت ضرایب کاهش به صورت زیر خواهند بود:

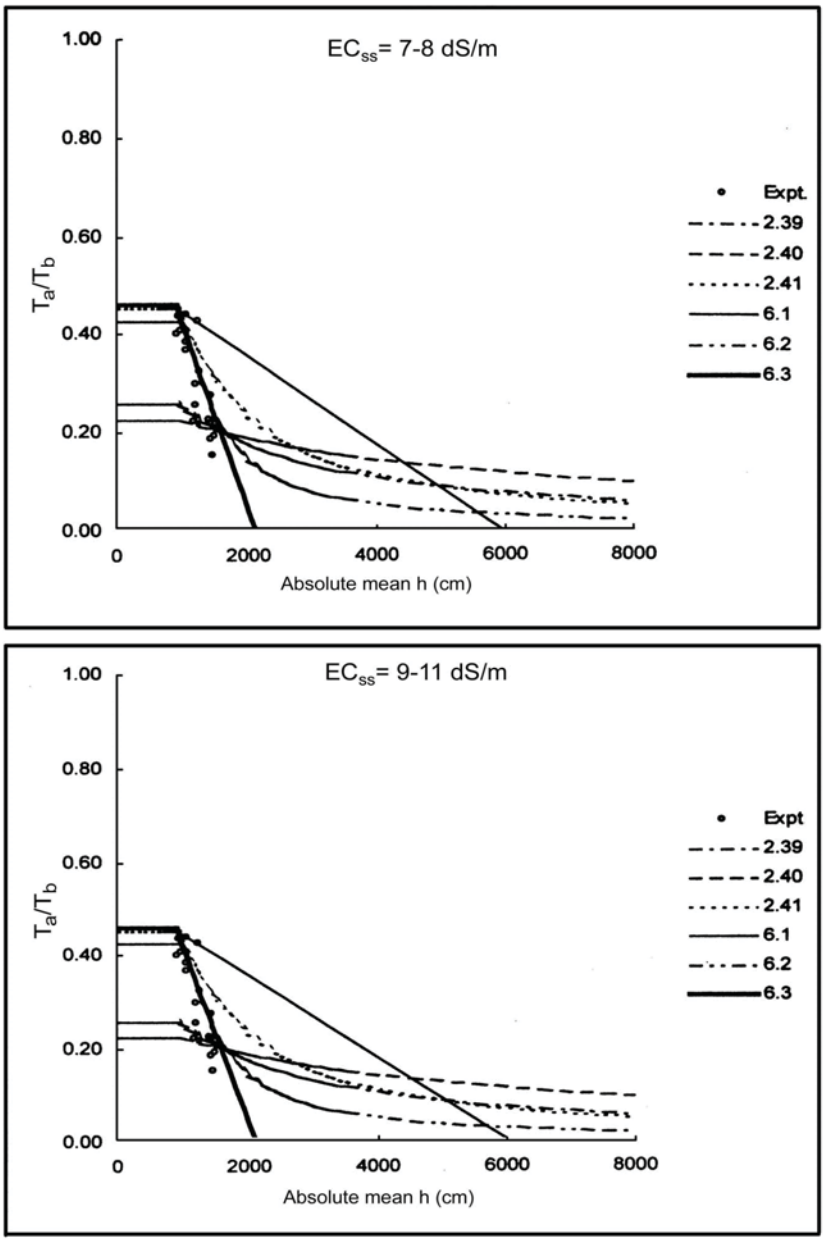
$$\alpha(h,h_{\circ}) = \frac{h-(h_4-h_{\circ})}{h_3-(h_4-h_{\circ})}\ \frac{1}{1+\left(\frac{h_{\circ}}{h_{\circ 50}}\right)} \qquad (۲۸)$$

$$\alpha(h,h_{\circ}) = \frac{h-(h_4-h_{\circ})}{h_3-(h_4-h_{\circ})}\ \frac{1}{1+\left(\frac{h_{\circ}^{*}-h_{\circ}}{h_{\circ}^{*}-h_{50}}\right)} \qquad (۲۹)$$

همائی (۱۹۹۹)، همائی و فدس (۱۹۹۹ و ۲۰۰۱) و همائی و همکاران (c و b و a ۲۰۰۲) پس از ارائه مدل خود، آن را نسبت به نتایج بدست آمده از یکسری آزمایشات با مدل‌های ضرب‌پذیر و جمع‌پذیر مورد مقایسه قرار داده که نتایج آن برای شوری‌های ۷ تا ۸ و ۹ تا ۱۱ دسی زیمنس بر متر در شکل ۷ به نمایش درآمده است. همانگونه که در این شکل پیدا است هیچ یک از مدل‌های جمع‌پذیر و یا ضرب‌پذیر نتایج رضایت‌بخشی به همراه نداشته، حال آنکه معادلهٔ ۲۷ با نتایج حاصل از آزمایش به خوبی مطابقت دارد.



شکل ۶- نمای عمومی تابع کاهش: a- ماس و هافمن، b- فدس و همکاران، c- ادغام مدل a در بخشی از مدل b که هیچگونه تنش آبی وجود ندارد و d- اثر توأمان شوری و کم‌آبی بر تابع کاهش.



شکل ۷– مقایسهٔ مدل‌های مختلف جمع‌پذیر و ضرب‌پذیر با مدل جدید ارائه شده توسط همائی (۱۹۹۹) برای شوری‌های ۷ تا ۸ و ۹ تا ۱۱ دسی زیمنس بر متر.

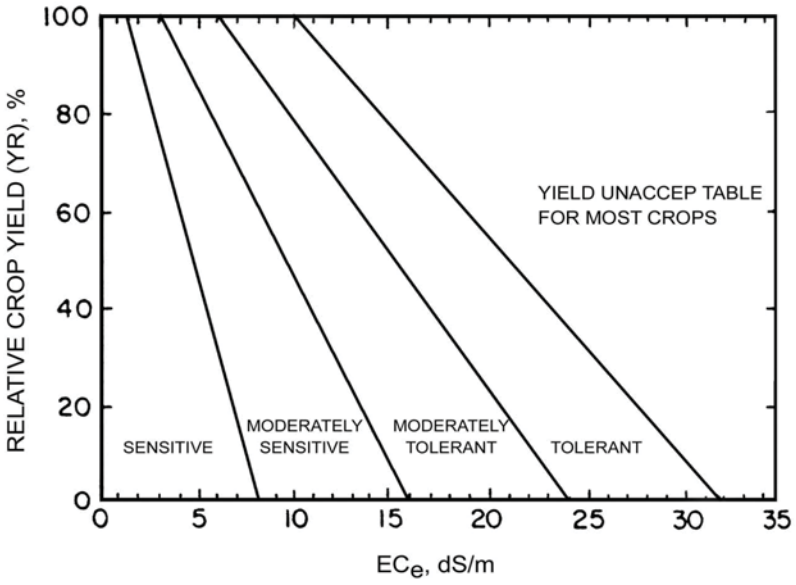
۷- ارقام موجود برای مقاومت گیاهان به شوری

۷-۱- گیاهان علفی

در جدول ۱، "آستانهٔ کاهش" و "شیب خط" برای ۸۱ گیاه جمع‌آوری شده است. بیشتر این ارقام در شرایط مشابه از نظر مدیریت مزرعه و کشت و کار به دست آمده‌اند. بنابراین، برای به دست آوردن ارقام یادشده هرچند که مدیریت نسبتاً یکسانی اعمال شده ولی گیاهان در شرایط آب و هوایی متفاوتی رشد کرده و در نتیجه حالتی استاندارد را نمی‌توان بر همهٔ آنها اعمال نمود. به علاوه، این ارقام برآمده از آزمایش‌هایی هستند که در آنها شوری خاک در ناحیهٔ رشد ریشه از زمان جوانه‌زنی گیاه تا بلوغ، حتی‌المقدور یکنواخت نگاه داشته شده است. به هنگام استفاده از این جدول باید به نکات مهم زیر توجه کرد:

- این اعداد تنها راهنمایی کلّی برای برآورد "مقاومت نسبی" گیاهان به شوری است. تحمل واقعی یک گونهٔ گیاهی بسته به اقلیم، نوع خاک و عملیات زراعی تغییر می‌کند.
- درجه بندی کیفی مقاومت گیاهان بر پایهٔ شکل ۸ استوار است. در جاهایی که درجه‌بندی به صورت تخمینی بوده نشانهٔ * بکار رفته است.
- در خاک‌های مورد آزمایش، یون Cl^- آنیون غالب بوده است.
- به هنگام تهیهٔ عصارهٔ اشباع خاک، مقداری از $CaSO_4$ در آب حل می‌شود و بنابراین EC_e خاک‌های گچی بین ۱ تا ۳dS/m بیش از خاک‌های غیر گچی در شرایط مشابه خواهد بود. مقدار این حلالیت به ترکیب یون‌های تبادلی، ظرفیت تبادل کاتیونی و ترکیب شیمیایی یون‌ها در محلول خاک بستگی دارد. بنابراین، گیاهانی که در خاک‌های گچی کشت می‌شوند می‌توانند تقریباً تا ۲dS/m بیش از آنچه که در جدول آمده را تحمل کنند. دیگر اینکه ارقام ارائه شده در این جدول، مقاومت گیاهان به"میانگین شوری" خاک در ناحیهٔ ریشه را در طول دورهٔ رشد

نشان می‌دهند، حال آنکه مقاومت گیاه طی دوره‌های مختلف رشد متفاوت است. مثلاً هرچند که ممکن است آستانهٔ کاهش که در حقیقت بیان کمّی مقاومت گیاهان به شوری است برای گیاهی زیاد باشد ولی گیاه در مرحلهٔ گیاهچه (Seedling) حساس‌تر بوده و در شوری‌های پایین‌تری آسیب می‌بیند. به عنوان مثال، آستانهٔ کاهش گیاه جو (Hordeum Vulgara) ۶dS/m است، حال آنکه شرط جوانه‌زنی این گیاه تجاوز نکردن شوری خاک از مرز ۴ تا ۵ دسی زیمنس بر متر است. کلیهٔ شوری‌های ارائه شده در این جدول بر حسب هدایت الکتریکی عصارهٔ اشباع خاک می‌باشد.



شکل ۸- راهنمای درجه‌بندی کیفی مقاومت گیاهان به شوری.

جدول ۱- مقاومت گیاهان علفی به شوری خاک.

نام گیاه	نام علمی	مبنای مقاومت	شوری آستانه کاهش EC_e(dS/m)	شیب خط	درجهٔ تحمّل
سیب‌زمینی ترشی	*Helianthus tuberosus L.*	مقدار غده	۰/۴	۹/۶	MS
جو	*Hordeum vulgare L*	مقدار دانه	۸	۵/۰	T
کلم	*Brassica campestris L.*	مقدار بذر	۹/۷	۱۴	T
کلزا	*B. napus L.*	مقدار بذر	۱۱	۱۳	T
نخود سفید	*Cicer arietinum L.*	مقدار بذر	–	–	MS
ذرت	*Zea mays L.*	وزن ترخوشه	۱/۷	۱۲	MS
پنبه	*Gossypium hirsutum L*	مقداربذر	۷/۷	۵/۲	T
سپیده	*Crambe abyssinica Hoxhst. ExR. E. Fries*	مقداربذر	۲	۶/۵	MS
کتان	*Linum usitatissimum L.*	مقداربذر	۱/۷	۱۲	MS
گوار	*Cyamopsis tetragonolobao (L.) Taub*	مقداربذر	۸/۸	۱۷	T
کنف	*Hibiscuscannabinus L.*	وزن خشک ساقه	۸/۱	۱۱/۶	T
سوروف برنجی	*Echinochloa turnerana (Domin) J. M. Black*	مقداردانه	–	–	T
یولاف	*Avena sativa L.*	مقداردانه	–	–	T
بادام زمینی	*Arachis hypogaea L.*	مقدار بذر	۳/۲	۲۹	MS
برنج	*Oryza sativa L.*	مقدار دانه	۳	۱۲	S
ختمی	*Hibiscus sabdariffa L.*	وزن خشک ساقه	–	–	MT
چاودار	*Secale cereale*	مقداردانه	۱۱/۴	۱۰/۸	T
گلرنگ	*Carthamus tinctorius L.*	مقداربذر	–	–	MT
کنجد	*Seasamum indicum L.*	وزن‌خشک غلاف	–	–	S
سورگوم	*Sorghum bicolor (L.)*	مقدار بذر	۶/۸	۱۶	MT
سویا	*Glycine max (L.) Merrill*	مقدار بذر	۵/۰	۲۰	MT

S: حساس

MS: نسبتاً حساس

T: مقاوم

MT: نسبتاً مقاوم

جدول ۱- دنباله.

چغندرقند	*Beta vulgaris L.*	ذخیره ریشه	۷	۵/۹	T
نیشکر	*Saccharum officinarum L.*	وزن خشک اندام‌های هوایی	۱/۷	۵/۹	MS
آفتابگردان	*Helianthus annuus L.*	مقدار بذر	۴/۸	۵	MT
تریتیکاله	*X Triticosecale Wittmack*	مقدار دانه	۶/۱	۲/۵	T
گندم	*Triticum aestivum L.*	مقداردانه	۶	۷/۱	MT
یونجه	*Medicago sativa L.*	وزن خشک اندام‌های هوایی	۲/۰	۷/۳	MS
سیاه ناو	*Puccinellia airoides*	وزن خشک اندام‌های هوایی	–	–	T
بذر انداز	*Sporobolus airoides Torr.*	وزن خشک اندام‌های هوایی	–	–	T
جو علوفه‌ای	*Hordeum vulgare L.*	وزن خشک اندام‌های هوایی	۶	۷/۱	MT
علف بوریا	*Agrostis stolonifera L.*	وزن خشک اندام‌های هوایی	–	–	MS
مَرغ	*Cynodon dactylobn L. Pers.*	وزن خشک اندام‌های هوایی	۶/۹	۶/۴	T
چمن گره یش	*Dichanthium aristatum*	وزن خشک اندام‌های هوایی	–	–	MS
باقلا	*Vicia faba L.*	وزن خشک اندام‌های هوایی	۱/۶	۹/۶	MS
جاروعلفی	*Bromus marginatus*	وزن خشک اندام‌های هوایی	–	–	MT
جاروعلفی نازک	*B. inermis Leyss*	وزن خشک اندام‌های هوایی	–	–	MT
ریش پری	*Pennisetum ciliare (L.)*	وزن خشک اندام‌های هوایی	–	–	MS
پنجه برگ	*Poterium sanguisorba L.*	وزن خشک اندام‌های هوایی	–	–	MS
دانه قناری	*Phalaris arundinacea L.*	وزن خشک اندام‌های هوایی	–	–	MT
شبدر دو رگ	*Trifolium hybridum L.*	وزن خشک اندام‌های هوایی	۱/۵	۱۲	MS
شبدر برگ باریک	*T. alexandrinum L.*	وزن خشک اندام‌های هوایی	۱/۵	۵/۷	MS
یونجه زرد	*Melilotus alba Dest.*	وزن خشک اندام‌های هوایی	–	–	MT
شبدرسفید	*Trifolium repens L.*	وزن خشک اندام‌های هوایی	۱/۵	۱۲	MS
شبدر ایرانی	*T. resupinatum L.*	وزن خشک اندام‌های هوایی	–	–	MS
شبدر قرمز	*T. pratense L.*	وزن خشک اندام‌های هوایی	۱/۵	۱۲	MS
شبدر توت فرنگی	*T. fragiferum L.*	وزن خشک اندام‌های هوایی	۱/۵	۱۲	MS
یونجه زرد	*Melilotus sp.*	وزن خشک اندام‌های هوایی	–	–	MT
شبدر سفید	*Trifolium repens L.*	وزن خشک اندام‌های هوایی	–	–	MS
ذرت	*Zea mays L.*	وزن خشک اندام‌های هوایی	۱/۸	۷/۴	MS
لوبیا چشم بلبلی	*Vigna unguiculata (L.)*	وزن خشک اندام‌های هوایی	۲/۵	۱۱	MS
ارزن باتلاقی	*Paspalum dilatatum Poir*	وزن خشک اندام‌های هوایی	–	–	MS
لوبیای‌درختی‌خاردار	*Sesbania ispinosa (Linn).*	وزن خشک اندام‌های هوایی	–	–	MT
علف بره کوهی	*Festuca elatior L.*	وزن خشک اندام‌های هوایی	۳/۹	۵/۳	MT

جدول ۱- دنباله.

علف بره بلوط پسند	*Festuca Pratensis Huds.*	وزن خشک اندام‌های هوایی	–	–	MT
دم روباهی	*Alopecurus pratensis L.*	وزن خشک اندام‌های هوایی	۱/۵	۹/۶	MS
گلیسین	*Neonotonia wightii*	وزن خشک اندام‌های هوایی	–	–	MS
ماش سیاه	*Vigna mungo (L.)*	وزن خشک اندام‌های هوایی	–	–	S
ماش آبی	*Bouteloua gracilis*	وزن خشک اندام‌های هوایی	–	–	MS
ارزن	*Panicum maximum Jacq.*	وزن خشک اندام‌های هوایی	–	–	MT
دانه قناری غیرعادی	*Phalaris tuberosa L. var.stenoptera (Hack)*	وزن خشک اندام‌های هوایی	۴/۶	۷/۶	MT
کلارگلاس	*Leptochloa fusca (L.)*	وزن خشک اندام‌های هوایی	–	–	T
-	*Lablab purpureus (L.)*	وزن خشک اندام‌های هوایی	–	-	MS
علف عشق	*Eragrostis sp.*	وزن خشک اندام‌های هوایی	۲	۸/۴	MS
گون	*Astragalus cicer L.*	وزن خشک اندام‌های هوایی	–	–	MS
-	*Setaria italica (L.)*	وزن خشک اندام‌های هوایی	–	–	MS
یولافک	*Arrhenatherum elatius (L.)*	وزن خشک اندام‌های هوایی	–	–	MS
یولاف	*Avena sativa L.*	وزن خشک اندام‌های هوایی	–	–	T
علف باغ	*Dactylis glomerata L.*	وزن خشک اندام‌های هوایی	۱/۵	۶/۲	MS
ارزن پادزهری	*Panicum antidotale Retz.*	وزن خشک اندام‌های هوایی	–	–	MS
-	*Cajanus cajan (L.)*	وزن خشک اندام‌های هوایی	–	–	S
کلزا	*Brassica napus L.*	وزن خشک اندام‌های هوایی	–	–	MT
جارو علفی	*Bromus unioloides*	وزن خشک اندام‌های هوایی	–	–	MT
علف پنجه سر	*Chloris Gayana Kunth.*	وزن خشک اندام‌های هوایی	–	–	MT
چاودار	*Secale cereale L.*	وزن خشک اندام‌های هوایی	۷/۶	۴/۹	T
چچم پرگل	*Lolium mulriforum Lam.*	وزن خشک اندام‌های هوایی	–	–	MT
چچم دائمی	*Lolium perenne L.*	وزن خشک اندام‌های هوایی	۵/۶	۷/۶	MT
چچم سخت	*L. Rigidum Gaud.*	وزن خشک اندام‌های هوایی	–	–	MT
لوبیا درختی	*Sesbania exaltata (Raf).*	وزن خشک اندام‌های هوایی	۲/۳	۷	MS
سیراتو	*Macroptilium atropurpureum Urb.*	وزن خشک اندام‌های هوایی	–	–	MS
دغدغک بوته‌ای	*Sphaerophysa salsula*	وزن خشک اندام‌های هوایی	۲/۲	۷	MS
چمن سودانی	*Sorghum sudanense (Piper) Stapf*	وزن خشک اندام‌های هوایی	۲/۸	۴/۳	MT
دم گربه‌ای	*Phleum pratense L.*	وزن خشک اندام‌های هوایی	–	–	MS
یونجه پاکلاغی	*Lotus pedunculatus Cav.*	وزن خشک اندام‌های هوایی	۲/۳	۱۹	MS
آهو ماش زرد	*L. corniculatus*	وزن خشک اندام‌های هوایی	۵	۱۰	MT

جدول ۱- دنباله.

آهوماش زرد واریته آرونیس	*L. corniculatus L. var arvenis (Schkuhr) Ser.ex DC*	وزن خشک اندام‌های هوایی	–	–	MS
ماشک برگ باریک	*Vicia angustifolia L.*	وزن خشک اندام‌های هوایی	۳	۱۱	MS
گندم	*Triticum aestivum L.*	وزن خشک اندام‌های هوایی	۴/۵	۲/۶	MT
گندم نوک اردکی	*T. turgidum L.*	وزن خشک اندام‌های هوایی	۲/۱	۲/۵	MT
چمن گندمی	*Agropyron sibiricum*	وزن خشک اندام‌های هوایی	۳/۵	۴	MT
چمن گندمی‌تاج خروسی	*A.cristatum (L.)*	وزن خشک اندام‌های هوایی	۷/۵	۶/۹	T
چمن گندمی میانی	*A. intermedium*	وزن خشک اندام‌های هوایی	–	–	MT
چمن گندمی سلندر	*A. trachycaulum*	وزن خشک اندام‌های هوایی	–	–	MT
چمن گندمی بلند	*A. elongatum*	وزن خشک اندام‌های هوایی	۷/۵	۴/۲	T
چمن گندمی غرب	*A. Smithii Rydb.*	وزن خشک اندام‌های هوایی	–	–	MT
چاودار وحشی	*Elymus angustus Trin.*	وزن خشک اندام‌های هوایی	–	–	T
چاودار	*E. tritcoides Buckl.*	وزن خشک اندام‌های هوایی	۲/۷	۶	MT
چاودار کانادایی	*E. canadensis L.*	وزن خشک اندام‌های هوایی	–	–	MT
چاودار روسی	*E. junceus Fisch.*	وزن خشک اندام‌های هوایی	–	–	T
کنگر- آرتیشو	*Cynara scolymus L.*	وزن خشک اندام‌های هوایی	۶/۱	۱۱/۵	MT
مارچوبه	*Asparagus officinalis L.*	وزن خشک اندام‌های هوایی	۴/۱	۲	T
لوبیا	*Phaseolus vulgaris L.*	مقدار جوانه	۱	۱۹	S
لوبیا لیما	*P. lunatus L.*	مقدار جوانه	–	–	MT
ماش	*Vigna radiata (L.)*	مقدار دانه	۱/۸	۲۰/۷	S
کاساوا	*Manihot esculenta Crantz*	مقدار دانه	–	–	MS
چغندر برگی	*Beta vulgaris L.*	مقدار غده	۴	۹	MT
بروکلی	*Brassica oleracea L. (Botrytis Group)*	ریشه ذخیره	۲/۸	۹/۲	MS
کلم بروکسل	*B.Oleracea L. (Gemmifera Group)*	وزن تر اندام‌های هوایی	–	–	MS
کلم معمولی	*B.oleracea L. (Gapitata Group)*	وزن تر اندام‌های هوایی	۱/۸	۹/۷	MS
هویج خودرو	*Daucus carota L.*	ریشه	۱	۱۴	S
گل کلم	*Brassica oleracea L. (Botrytis Group)*	-	–	–	MS
کرفس وحشی	*Apium graveolens L.*	وزن تردمبرگ	۱/۸	۶/۲	MS
ذرت شیرین	*Zea mays L.*	وزن تر بلال	۱/۷	۱۲	MS
لوبیای چشم بلبلی	*Vigna unguiculata (L.)*	مقدار دانه	۴/۹	۱۲	MT
خیار	*Cucumis sativus L.*	مقدار میوه	۲/۵	۱۳	MS

جدول ۱- دنباله.

بادنجان	*Solanum melongena L.*	مقدار میوه	۱/۱	۶/۹	MS
سیر	*Allium sativum L.*	مقدار غده پیاز	۳/۹	۱۴/۳	MS
ماش سیاه	*Vigna mungo (L.)*	-	–	–	S
کلم پیچ	*Brassica oleracea L. (Acephala Group)*	-	–	–	MS
کلم قمری	*Brassica oleracea L. (Gongylodes Group)*	-	–	–	MS
کاهو	*Lactuca sativa L.*	وزن تر اندام‌های هوایی	۱/۳	۱۳	MS
خربزهٔ وحشی	*Cucumis melo L. (Reticulatus Group)*	وزن تر اندام‌های هوایی	۱	۸/۴	MS
بامیه	*Abelmoschus esculentus (L.)*	-	–	–	MS
پیاز باغی (غده)	*Allium cepa L.*	مقدار پیاز	۱/۲	۱۶	S
پیاز معمولی (بذر)	*Allium cepa L.*	مقدار غده	۱	۸	MS
-	*Pastinaca sativa L.*	-	–	–	S
نخود	*Pisum sativum L.*	مقدار دانه	۳/۴	۱۰/۶	MS
فلفل قرمز	*Capsicum annuum L.*	مقدار دانه	۱/۵	۱۴	MS
نخود پیجون	*Cajanus cajan (L.)*	وزن تر دانه	–	–	S
سیب‌زمینی	*Solanum tuberosum L.*	مقدار غده	۱/۷	۱۲	MS
کدو مسمایی	*Cucurbita pepo L.var Pepo*	-	–	–	MS
خرفه	*Portulaca oleracea L.*	-	۶/۳	۹/۶	MT
تربچه	*Raphanus sativus L.*	مقدار غده	۱/۲	۱۳	MS
اسفناج	*Spinacia oleracea L.*	وزن تر اندام‌های هوایی	۲	۷/۶	MS
کدو تنبل	*Cucurbita pepo L.*	مقدار میوه	۳/۲	۱۶	MS
کدو مسمایی	*D.pepo L.*	مقدار میوه	۴/۹	۱۰/۵	MT
توت فرنگی	*Fragaria x ananassa Duch.*	مقدار میوه	۱	۳۳	S
سیب زمینی شیرین	*Ipomoea batatas (L.) Lam.*	ریشه‌های گوشتی	۱/۵	۱۱	MS
لوبیا	*Phaseolus acutifolius Gray*	مقدار میوه	–	–	MS
گوجه‌فرنگی	*Lycopersicon lycopersicum*	مقدار میوه	۲/۵	۹/۹	MS
گونه‌ای گوجه‌فرنگی	*L. lycopersicum var. Cerasiforme*	مقدار میوه	۱/۷	۹/۱	MS
شلغم	*Brassica rapa L.*	ریشه ذخیره	۰/۹	۹	MS
هندوانه	*Citrullus lanatus (Thunb).*	-	–	–	MS
گونه‌ای لوبیا	*Psophocarpus Tetragonolobus L.*	-	–	–	MT

۷-۲- درختان

فرآیند مقاومت درختان به شوری به جهت اینکه اثر اختصاصی یون‌ها نیز درآن تعیین کننده است، بسیار پیچیده می‌باشد. بسیاری از گونه‌های چوبی دائمی (چند ساله) بر اثر تجمع یون Cl^- و یا Na^+ در برگ‌های خود دچار آسیب‌دیدگی برگی می‌شوند. از آنجاییکه کولتیوارهای مختلف یک گونهٔ درختی ممکن است مقادیر متفاوتی Cl^- و یا Na^+ جذب کنند، تغییرات زیادی در مقاومت آن گونهٔ گیاهی می‌توان انتظار داشت.

در غیاب اثر ویژهٔ یونی، مقاومت درختان به شوری همانند گیاهان علفی تابعی از غلظت املاح محلول در خاک و یا پتانسیل اسمزی است. ارقام ارائه شده در جدول ۲ مقاومت گیاهان درختی را به شوری نشان می‌دهد. این ارقام تنها هنگامی صادقند که اثر ویژهٔ یونی، عامل محدود کنندهٔ رشد نباشد. به دلیل هزینه‌بری و طولانی بودن زمان میوه‌دهی، مقاومت گیاهان بر مبنای رشد رویشی و نه عملکرد ارائه شده است. در مقایسه با سایر گیاهان، اغلب گیاهان درختی حتی در غیاب اثر ویژهٔ یونی به شوری خاک حساس می‌باشند. از کل گیاهان ارائه شده در جدول ۲ تنها خرما به شوری مقاوم است و مقاومت زیتون به شوری در حد متوسط است.

جدول ۲- مقاومت درختان به شوری عصارهٔ اشباع خاک.

نام گیاه	نام علمی	مبنای مقاومت	آستانهٔ کاهش	شیب خط	درجهٔ تحمّل
بادام	*Prunus duclis*	رشد اندام‌های هوایی	۱/۵	۱۹	S
سیب	*Malus sylvestris Mill.*	-	_	_	S
زردآلو	*Prunus armeniaca L.*	رشد اندام‌های هوایی	۱/۶	۲۴	S
آووکادو	*Persea americana Mill.*	رشد اندام‌های هوایی	_	_	S
موز	*Musa acuminata Colla*	مقدار میوه	_	_	S
شاه توت	*Rubus macropetalus*	مقدار میوه	۱/۵	۲۲	S
توت سیاه	*Rubus ursinus*	مقدار میوه	۱/۵	۲۲	S
کرچک	*Ricinus communis L.*	آسیب برگی	_	_	MS
-	*Annona cherimola Mill.*	آسیب برگی	_	_	S
گیلاس	*Prunus avium L.*	آسیب برگی	_	_	S
گونه‌ای گیلاس	*Prunus besseyi L.*	رشد ساقه	_	_	S
نارگیل	*Cocos nucifera L.*	-	_	_	MT
کشمش بی‌دانه	*Ribes sp. L.*	رشد ساقه، آسیب برگی	_	_	S
خرما	*Phoenix dactylifera L.*	مقدار میوه	۴	۳/۶	T
انجیر	*Ficus carica L.*	وزن خشک گیاه	_	_	MT
گونه‌ای انگور	*Ribes sp. L.*	-	_	_	S
انگور	*Vitus vinifera L.*	رشد اندام‌های هوایی	۱/۵	۹/۶	MS
گریپ فروت	*Citrus x paradisi Macfady.*	مقدار میوه	۱/۲	۱۳/۵	S
گوآوا	*Psidium guajava L.*	رشد اندام‌های هوایی و ریشه	۴/۷	۹/۸	MT
گویولی	*Parthenium argentatum*	وزن خشک اندام‌های هوایی	۸/۷	۱۱/۶	T
اوجن	*Syzygium cumini L.*	رشد اندام‌های هوایی	_	_	T
هوهوبا	*Simmondsia chinensis*	رشد اندام‌های هوایی	_	_	T
عناب هندی	*Ziziphus mauritiana Lam.*	مقدار میوه	_	_	MT
لیمو شیرین	*Citrus limon (L.) Burm. F.*	مقدار میوه	۱/۵	۱۲/۸	S
لیمو ترش	*C. aurantiifolia*	مقدار میوه	_	_	S
ازگیل ژاپنی	*Eriobotrya japonica*	آسیب برگی	_	_	S
-	*Macadamia integrifolia*	رشد گیاهچه	_	_	MS
نارنگی	*Citrus reticulata Blanco*	رشد اندام‌های هوایی	_	_	S
انبه	*Mangifera indica L.*	آسیب برگی	_	_	S
-	*Carissa grandiflora*	رشد اندام‌های هوایی	_	_	T
زیتون	*Olea europaea L.*	رشد گیاهچه، مقدار میوه	_	_	MT

جدول ۲- دنباله.

پرتقال	*Citrus sinensis (L.)*	مقدار میوه	۱/۳	۱۳/۱	S
خربزه درختی	*Carica papaya L.*	رشد گیاهچه، آسیب برگی	–	–	MS
-	*Passiflora edulis Sims.*	-	–	–	S
هلو	*Prunus persica (L.) Batsch*	رشد اندام‌های هوایی، مقدار میوه	۱/۷	۲۱	S
گلابی	*Pyrus communis L.*	-	–	–	S
گردوی گرمسیری	*Carya illinoinensis*	مقدار میوه، رشد قطر درخت	–	–	MS
خرمالوی آمریکایی	*Diospyros virginiana L.*	وزن خشک اندام‌های هوایی	–	–	S
آناناس	*Ananas conosus (L.)*	وزن خشک اندام‌های هوایی	–	–	MT
پسته	*Pistacia vera L.*	رشد اندام‌های هوایی	–	–	MS
آلو زرد	*Prunus domestica L.*	مقدار میوه	۲/۶	۳۱	MS
انار	*Punica granatum L.*	رشد اندام‌های هوایی	–	–	MS
سوبابل	*Leucaena leucocephala*	وزن خشک اندام هوایی	–	–	MS
دارایی (توسرخ)	*Citrus maxima (Burm).*	-	–	–	S
تمشک	*Rubus idaeus L.*	آسیب برگی	–	–	S
جم (اوجن)	*Syzygium jambos*	مقدار میوه	–	–	S
-	*Casimiroa edulis L lave*	آسیب برگی	–	–	S
-	*Sesbania grandiflora*	آسیب برگی، وزن‌خشک اندام هوایی	–	–	MT
-	*Prosopis tamarugo Phil*	-	–	–	T
گردو	*Juglans spp.*	آسیب برگی	–	–	S

۸- مقاومت گیاهان در برابر آبیاری با آب شور به روش بارانی

افزون بر آسیبی که گیاه از ناحیهٔ شوری خاک می‌بیند، در صورتی که محصولات زراعی با آب شور به روش بارانی آبیاری شوند، به صورت برگی نیز صدمه خواهند دید. بر اثر جذب مستقیم نمک توسط برگ‌ها، غلظت آن در برگ افزایش یافته و در برخی گونه‌ها یا برگ صدمه می‌بیند و یا کلاً از بین می‌رود. هر نوع مکانیسم ژنتیکی که بتواند به محدود کردن حرکت Cl^- و Na^+ از شاخه‌ها به برگ منجر گردد، در صورت آبیاری بارانی با آب شور بی‌اثر خواهد شد. شدت آسیب‌دیدگی برگی به غلظت نمک در برگ بستگی دارد ولی شرایط آب و هوایی و نیز وجود تنش آبی هم هر کدام بر شدت آن

می‌افزایند. مثلاً ممکن است که غلظت نمک‌های تجمع یافته در برگ از چند هفته قبل به حد سمّیت رسیده باشد بدون آنکه گیاه هیچ نوع نشانهٔ سمّیت از خود بروز دهد. اما به محض گرم شدن هوا و یا خشک شدن آن، نشانه‌های نکروز شدید ظاهر می‌گردد. بنابراین، در حال حاضر هیچگونه راهنمای عملی برای ارتباط دادن غلظت نمک در برگ با آسیب‌دیدگی برگی وجود ندارد. همچنین پژوهش‌های انجام شده برای برآورد کمی کاهش محصول بر اثر برگپاشی با آب شور بسیار اندک است. به رغم این محدودیت، ارقام اندک موجود در جدول ۳ جمع‌آوری گردیده که در حقیقت آستانهٔ شوری آب آبیاری (EC_i) به روش بارانی و خسارت به گیاه را نشان می‌دهند. آن دسته از گیاهانی که آستانهٔ خسارت برگی آنها کمتر از آستانهٔ کاهش محصول است، اگر با آب شوری آبیاری (بارانی) شوند که غلظت املاح آن برابر یا بیشتر از آستانهٔ کاهش محصول باشد، با احتمال بیشتری دچار آسیب‌دیدگی برگی خواهند شد. چنانچه شوری آب مصرفی در آبیاری بارانی بیش از هر دو آستانه (آستانهٔ خسارت برگی و آستانهٔ کاهش محصول) باشد، هم خسارت برگی و هم کاهش عملکرد تواماً قابل انتظار است. اگر این اثر تجمعی باشد، کاهش عملکرد بیش از آن چیزی است که در جدول ۱ ارائه شده است.

از نقطه نظر عملی، چنانچه مجبور باشیم که از آب شور در سیستم آبیاری بارانی استفاده کنیم، با انجام عمل آبیاری در زیر تاج درختان می‌توان از بخش عمده‌ای از خسارت برگی جلوگیری کرد. البته، این کار ممکن است دشوار و یا حتی در شرایطی عملی نباشد. همچنین با توجه به اینکه آسیب برگی بیشتر به تعداد بارش‌ها مربوط می‌شود تا مدت بارش، افزایش فاصلهٔ دو آبیاری و انجام آبیاری سنگین بهتر از آبیاری با دور کم و مداوم است. به طور کلّی باید از آبیاری متناوب که طی آن سطح برگ‌ها متناوباً تر و خشک می‌شود اجتناب کرد. شاید بهترین روش برای جلوگیری از آسیب برگی، آبیاری در شب باشد زیرا در این هنگام هم تبخیر و هم جذب نمک توسط گیاه به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. چنانچه ناگزیر از آبیاری در طول روز باشیم، باید از انجام آن در هوای گرم و خشک و به هنگام وزش باد خودداری کنیم.

پژوهش‌ها نشان می‌دهند که چنانچه پیش یا پس از آبیاری با آب شور، به مدت ۳ تا ۵ دقیقه از آب کم‌شور استفاده شود مقدار تجمع املاح در برگ‌ها به طور چشمگیری کاهش می‌یابد (Aragues و همکاران،۱۹۹۴؛ Benes و همکاران، ۱۹۹۶). زیرا عمل جذب بیشتر توسط برگ‌های خیس شده در همان دقایق اولیهٔ بارش آب شور صورت می‌گیرد. بنابراین با شستشوی برگ‌ها با آب لب‌شور پس از تجمع نمک بر روی آنها در اثر تبخیر، مقدار جذب به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. این پژوهندگان نشان داده‌اند که آبیاری بارانی با EC_i=۹dS/m به میزان ۵۸ درصد محصول را نسبت به وقتی که از آبیاری بارانی استفاده نشده کاهش می‌دهد ولی هنگامی که برگ‌ها پیش و پس از آبیاری با آب غیر شور آب‌پاشی شدند تنها ۱۷ درصد کاهش عملکرد محقق گردید.

جدول ۳ -آسیب‌دیدگی برگی گیاهان بر اثر آبیاری با آب شور.

غلظت Na^+ یا Cl^- که موجب آسیب برگی می‌شود (mol/m^3)			
>20	10-20	5-10	<5
گل‌کلم	یونجه	انگور	بادام
پنبه	جو	فلفل	زردآلو
چغندرقند	ذرّت	سیب‌زمینی	مرکبات
آفتابگردان	خیار	گوجه‌فرنگی	گوجه‌سبز- آلو
	گلرنگ		
	کنجد		
	سورگوم		

۹- واکنش گیاهان به یون‌های ویژه

۹-۱- کلیّات

غلظت نسبی یون‌های Na^+، Ca^{2+}، Mg^{2+}، Cl^-، SO_4^{2-} و HCO_3^- در خاک‌های شور بسیار متغیر است؛ اما تا زمانی که نسبت بین یون‌های یادشده به صورت بحرانی

درنیامده، اغلب گیاهان به مجموع املاح و به تبع آن به پتانسیل اسمزی محلول خاک واکنش نشان می‌دهند. بااین حال، برخی از گیاهان علفی و بسیاری از گونه‌های درختی مستقیماً از وجود برخی یون‌ها دچار سمّیت و آسیب‌دیدگی می‌شوند. به این اثر "اثر ویژهٔ یونی" گویند که در زیر مورد بحث قرار می‌گیرد.

۹-۲- سدیم

هرچند که سدیم جزو عناصر ضروری برای رشد گیاه به شمار نمی‌آید، ولی وجود آن در شرایطی که شوری خاک کمتر از آستانهٔ کاهش عملکرد باشد، برای رشد برخی گیاهان مفید است. چنانچه شوری خاک بیش از آستانهٔ کاهش باشد، وجود سدیم می‌تواند هم مستقیماً و هم به صورت غیر مستقیم بر گیاه اثر بگذارد. اثر مستقیم سدیم هنگامی بروز می‌کند که غلظت تجمع یافتهٔ آن درگیاه ایجاد سمّیت کند، که معمولاً این پدیده منحصر به گونه‌های درختی است. اینکه این گیاهان تا چه حد می‌توانند نسبت به Na^+ مقاوم باشند، از گیاهی به گیاه دیگر و از گونه‌ای به گونهٔ دیگر متفاوت است. مثلاً در آووکادو، مرکبات و هلو غلظت‌های اندک سدیم در محلول خاک تا حدود ۵ میلی مول در لیتر موجب زیان می‌گردد. نشانه‌های ظاهری سمّیت سدیمی معمولاً بلافاصله پس از تجمع آن در گیاه ظاهر نمی‌گردد. زیرا در آغاز، سدیم در ریشه‌ها و در بخش‌های زیرین درخت تجمع یافته و پس از ۳ تا۴ سال با حرکت شیرهٔ گیاهی به سمت بالا حرکت کرده و نهایتاً به شاخه و برگ‌ها سرازیر گشته و منجر به سوختگی برگی می‌شود.

اثر غیر مستقیم یون سدیم شامل تخریب خواص فیزیکی خاک و ایجاد عدم تعادل تغذیه‌ای در گیاه می‌باشد. اثر سدیم بر تعادل تغذیه‌ای کمتر به درصد سدیم تبادلی خاک مربوط می‌شود و بیشتر به غلظت Na^+ ، Ca^{2+} و Mg^{2+} در محلول خاک ارتباط دارد. در خاک‌های سدیمی (غیر شور) معمولاً غلظت کل املاح محلول در خاک پایین بوده و در نتیجه غلظت Mg^{2+}, Ca^{2+} از نظر تغذیه‌ای در حد کافی نیست. این نوع کمبود کلسیم و منیزیم (ونه سمیت یون سدیم) در خاک‌های سدیمی معمولاً نخستین عامل رشد ضعیف گیاه به شمار می‌آید. افزون براین، با توجه به اینکه شدت و مقدار جذب Na^+ شدیداً توسط یون Ca^{2+} در محلول خاک مهار می‌گردد، وجود مقدار کافی Ca^{2+} برای جلوگیری

از انباشت Na^+ در گیاه ضروری است. این موضوع به ویژه برای گونه‌های درختی که به وجود Na^+ حساس هستند اهمیت فراوان دارد. چنانچه غلظت هر یک از یون‌های Mg^{2+} و Ca^{2+} بیش از یک مول در متر مکعب باشد و نیز چنانچه در همین شرایط غلظت Ca^{2+} برابر ویا بیش از غلظت Mg^{2+} باشد، گیاه از نظر تغذیه‌ای به قدر کافی از این عناصر در اختیار خواهد داشت و بنابراین در خاک‌های سدیمی (غیر شور) مشکلی از نظر تامین Mg^{2+} و Ca^{2+} به وجود نخواهد آمد. حال چنانچه افزون بر سدیمی بودن، غلظت املاح محلول به قدری افزایش یابد که خاک شور گردد، به خودی خود مقداری کافی کلسیم در اختیار اغلب گیاهان قرار گرفته و در این صورت دیگر موردی از کمبود کلسیم مشاهده نشده بلکه اثر غالب در کاهش عملکرد مربوط به فشار اسمزی خواهد بود. به رغم این واقعیت، برخی از گونه‌های گیاهی در چنین شرایطی هم ممکن است دچار کمبود کلسیم گردند.

چنانچه خاک سدیمی باشد، همه گیاهان را از خود متأثر می‌سازد. زیرا با سدیمی شدن خاک خواص فیزیکی آن به شدت تخریب می‌گردد. با افزایش سدیم تبادلی خاک، پراکنش ذرات خاک افزایش یافته و بدین ترتیب نفوذ پذیری خاک نسبت به آب و هوا به شدت کاهش می‌یابد و بدین ترتیب رشد هر نوع گیاه در آن محدود می‌شود. تخریب ساختمان خاک، محیطی نسبتاً اشباع را موجب می‌گردد که در چنین وضعیتی، شرایط برای انواع بیماری‌های ریشه فراهم می‌شود. بنابراین، کاهش عملکرد در گیاهانی که به وجود یون سدیم چندان هم حساس نیستند مربوط به اثر مشترک "عدم تعادل تغذیه‌ای" و "نامساعد بودن شرایط فیزیکی خاک" است.

۹-۳- کُلر

کُلر از عناصر کم‌نیاز[1] ضروری برای رشد گیاهان است، ولی برخلاف سایر عناصر کم‌نیاز اثر سمّیت آن نسبتاً اندک است. در حقیقت، اغلب گونه‌های غیر درختی به یون Cl^- حساس نیستند. البته برخی گونه‌های سویا از این قاعده مستثنی بوده و تجمع کُلر زیادی در آنها منجر به سمّیت می‌گردد. معمولاً گونه‌های مقاوم سویا حمل ونقل کُلر به شاخه‌ها

1 -Micro Elements / Micro Nutrients

را محدود می‌کنند و بدین ترتیب مقدار کمتری کُلر به برگ‌ها خواهد رسید. بسیاری از گونه‌های درختی نسبت به Cl^- حساس بوده و تجمع آن در برگ‌هایشان ایجاد سمّیت می‌کند. مقاومت و یا حساسیت درختان به وجود کُلر از گونه‌ای به گونهٔ دیگر تفاوت دارد. همانند سویا، اختلاف مقاومت گیاهان به کُلر به توانایی آنها در جلوگیری از حرکت Cl^- به شاخه‌ها بستگی دارد. هر چه این توانایی بیشتر باشد ، گیاه به Cl^- مقاوم‌تر است. پژوهش‌ها نشان می‌دهند که وجود کُلر بر مقاومت درختان به شوری نیز مؤثر است. مثلاً مقاومت آووکادو، هلو، انگور، گریپ فروت و پرتقال به شوری قویاً به تجمع کُلر در گیاه بستگی دارد. یکی از دلایل تفاوت گونه‌های انگور در مقاومت به شوری به همین امر مربوط می‌شود. چنانچه قلمه‌هایی انتخاب گردد که کُلر کمتری در خود ذخیره می‌کنند، مقاومت بیشتری به شوری خواهند داشت. در جدول ۴ حداکثر غلظت مجاز کُلر که منجر به آسیب برگی نمی‌گردد برای برخی درختان ارائه شده است.

زیان عمدهٔ کُلر به گیاهان از اثری که بر افزایش فشار اسمزی دارد ناشی می‌شود. تا کنون هیچ پژوهش مستقلی جهت ارزیابی شوری ناشی از یون کُلر به تنهایی صورت نگرفته ولی بیشتر ارقام ارائه شده در جدول ۱ مربوط به شرایطی است که کُلر، آنیون غالب نمک‌های کلسیمی و منیزیمی بوده است. بنابراین، به خودی خود از این ارقام برای منظور فوق استفاده شده است و می‌توان آنها را جهت ارزیابی گزند ناشی از یون کُلر بکار گرفت. چنانچه کُلر آنیون غالب در محلول خاک باشد، می‌توان غلظت آن را با استفاده از رابطهٔ زیر تخمین زد:

$$[Cl^-] \approx 10EC(dS/m) \qquad (۳۰)$$

که در آن $[Cl^-]$ غلظت کُلر موجود در خاک بر حسب مول بر متر مکعب است. چنانچه ارقام مربوط به آستانهٔ کاهش در جدول‌های ۱ و ۲ را در عدد ۱۰ ضرب کنیم، حداکثر غلظت مجاز کُلر در عصارهٔ اشباع خاک (بر حسب $mole/m^3$) برای گونه‌های مختلف به دست خواهد آمد. با تقسیم شیب خط در این جدول‌ها بر عدد ۱۰، مقدار کاهش عملکرد به ازای افزایش هر $mole/m^3$ کُلر پس از غلظت آستانه به دست می‌آید.

جدول ۴- مقاومت برخی گونه‌ها و پایه‌های درختی به یون کُلر.

نام	نام انگلیسی	نام پایه یا واریته	حداکثر غلظت مجاز Cl^- در محلول خاک از نظر آسیب برگی (mol/m^3)
آووکادو	Avocado *(Persea americana)*		
		West Indian	۱۵
		Guatemalan	۱۲
		Mexican	۱۰
مرکبات	Citrus *(Citrus sp.)*		
		Sunki mandarin, grapefruit	۵۰
		Cleopatra mandarin, Rangpur lime	۵۰
		Sampson tangelo, rough lemon	۳۰
		Sour orange, Ponkan mandarin	۳۰
		Citrumeli 4475, trifoliare orange	۲۰
		Cuban shaddock	۲۰
		Calamondin, sweet orange	۲۰
		Savage citrange, Rusk citrange	۲۰
		Troyer citrange	۲۰
انگور	Grape *(Vitis sp.)*		
		Salt Creek, 1613-3	۸۰
		Dog ridge	۶۰
آلو	Stone fruit *(Prunus sp.)*		
		Marianna	۵۰
		Lovell, Shalil	۲۰
		Yunnan	۱۵
واریته‌ها تمشک	Berries *(Rubus sp.)*		
		Boysenberry	۲۰
		Olallie blackberry	۲۰
		Indian Summer raspberry	۱۰
انگور	Grape *(Vitis sp.)*		
		Thompson seedless, Perlette	۴۰
		Cardinal, Black rose	۲۰
توت فرنگی	Strawberry *(Fragaria sp.)*		
		Lassen	۱۵
		Shasta	۱۰

۹-۴- بُر

بُر(B^+) یکی از عناصر ضروری برای رشد گیاه است ولی بر خلاف کُلر چنانچه محلول خاک غلیظ شود به نحوی که غلظت آن کمی بیش از غلظت مورد نیاز گیاه باشد، بلافاصله ایجاد سمّیت می‌کند. معمولاً غلظت‌های سمّی بُر در مناطق خشک و نیمه خشک جهان یافت می‌شوند. در اغلب آب‌های سطحی جهان، حد قابل قبولی از بُر وجود دارد ولی در پاره‌ای از نقاط، آب چاه‌ها حاوی غلظت‌های سمّی آن است. از آنجاییکه دامنهٔ تحمّل گیاهان مختلف به بُر بسیار متفاوت است، آبی که برای یک گونه، سمّی به شمار می‌آید می‌تواند برای گونه‌های مقاوم‌تر به آسانی مصرف گردد.

بیشتر ارقام جمع‌آوری شده برای مقاومت گیاهان به بُر حاصل آزمایشاتی است که طی سال‌های ۱۹۳۰ تا ۱۹۴۴ توسط Eaton (۱۹۴۴) صورت گرفته و در برگیرندهٔ آستانهٔ کاهش برای بیش از ۴۰ نوع گیاه است. هرچند که آستانه‌های به دست آمده توسط Eaton بسیار ارزشمندند ولی کل دامنهٔ ارقام را نمی‌توان به طوری رضایت‌بخش به هیچ یک از توابع ریاضی برازش داد. به همین جهت در جدول ۵ که مقاومت گیاهان به بُر گردآوری شده تنها جهت ارائهٔ آستانهٔ کاهش از این ارقام استفاده شده است. پژوهش‌های Francois (۱۹۸۴، ۱۹۸۶، ۱۹۸۸، ۱۹۸۹، ۱۹۹۱ و۱۹۹۲) نشان می‌دهد که همانند شوری، می‌توان تابعی خطی و دوتکه بر کل دامنهٔ واکنش گیاهان به بُر برازش داد. آستانه‌های کاهش و شیب خط‌های به دست آمده از این پژوهش‌ها در جدول ۵ گردآوری شده‌اند. در اینجا تذکر این نکته لازم است که اغلب ارقام این جدول حاصل آزمایشات در محیط‌های شنی بوده و بنابراین در تعمیم آنها به سایر خاک‌ها باید دقت کرد. همچنین آستانهٔ کاهش در این جدول‌ها بیانگر حداکثر غلظت مجاز بُر بوده که تا آن غلظت کاهشی در عملکرد به وجود نمی‌آید. ولی در برخی گیاهان ممکن است بدون آنکه کاهشی در عملکرد رخ دهد، غلظت موجود بُر موجب سوختگی برگ‌ها گردد. دراین جدول، گیاهان به شش گروه از خیلی حساس تا خیلی مقاوم تقسیم شده‌اند. همانند تحمّل گیاهان به شوری، مقاومت آنها به بر بسته به شرایط اقلیمی، خاک و گونهٔ گیاهی تغییر می‌کند و بنابراین، این ارقام برای کلیهٔ شرایط و اقلیم‌ها صادق نیستند. برخی از گونه‌های مرکبات و هلو مقادیر متفاوتی بُر جذب می‌کنند و بنابراین جهت نیل به عملکرد بهینه باید گونه‌هایی را برگزید که مقدار کمتری بُر جذب می‌کنند. مقاومت تعدادی از این گونه‌ها به بُر در جدول ۶ گردآوری شده است.

جدول ۵ – مقاومت برخی گیاهان به بُر.

نام گیاه	نام علمی	مبنای مقاومت	آستانه	شیب خط	درجهٔ تحمّل
یونجه	*Medicago sativa L.*	وزن خشک اندام هوایی	۴-۶	-	T
آلو	*Prunus armeniaca L.*	آسیب برگی ساقه	۰/۵-۰/۷۵	-	S
آرتیشو	*Cynara scolymus L.*	وزن خشک	۲-۴	-	MT
سیب زمینی ترشی	*Helianthus tuberosus L.*	وزن خشک کل گیاه	۰/۷۵-۱	-	S
مارچوبه	*Asparagus officinalis L.*	وزن خشک اندام هوایی	۱۰-۱۵	-	VT
آووکادو	*Persea americana Mill.*	آسیب برگی	۰/۵-۰/۷۵	-	S
جو	*Hordeum vulgare L.*	مقدار دانه	۳/۴	۴/۴	MT
لوبیا	*Phaseolus vulgaris L.*	وزن خشک کل گیاه	۰/۷۵-۱	-	S
لوبیا	*Phaseolus lunatus L.*	وزن خشک کل گیاه	۰/۷۵-۱	-	S
ماش	*Vigna radiata L.R.Wilcz*	طول شاخه	۰/۷۵-۱	-	S
لوبیا	*Phaseolus vulgaris L.*	مقدار غلاف	۱	۱۲	S
چغندر	*Beta vulgaris L.*	وزن خشک ریشه	۴-۶	-	T
تمشک	*Rubus sp. L.*	وزن خشک کل گیاه	<۰/۵	-	VS
چمن مرتعی	*Poa pratensis L.*	وزن خشک برگ	۲-۴	-	MT
بروکلی	*Brassica oleracea L.*	وزن تر قسمت سر	۱	۱/۸	MS
کلم گل	*Brassica oleracea L.*	وزن خشک کل گیاه	۲-۴	-	MT
هویج فرنگی	*Daucus carota L.*	وزن خشک ریشه	۱-۲	-	MS
کلم رومی	*Brassica oleracea L.*	وزن تر کلم	۴	۱/۹	MT
کرفس وحشی	*Apium graveolens L.*	وزن تر دمبرگ	۹/۸	۳/۲	VT
گیلاس	*Prunus avium L.*	وزن خشک کل گیاه	۰/۵-۰/۷۵	-	S
-	*Melilotus indica All.*	وزن خشک کل گیاه	۲-۴	-	MT
ذرت	*Zea mays L.*	وزن خشک شاخه	۲-۴	-	MT
پنبه	*Gossypium hirsutum L.*	وزن خشک غنچه	۶-۱۰	-	VT
لوبیا چشم بلبلی	*Vigna unguiculata*	مقدار بذر	۲/۵	۱۲	MT
خیار	*Cucumis carica L.*	وزن خشک شاخه	۱-۲	-	MS
انجیر	*Ficus carica L.*	وزن خشک کل گیاه	۰/۵-۰/۷۵	-	S
سیر	*Allium sativum L.*	مقدار غده	۴/۳	۲/۷	T
انگور	*Vitis vinifera L.*	وزن خشک کل گیاه	۰/۵-۰/۷۵	-	S
گریپ فروت	*Citrus x paradidi Macfady.*	آسیب برگی	۰/۵-۰/۷۵	-	S
لیمو شیرین	*Citrus limon (L.) Burm. F.*	آسیب برگی	<۰/۵	-	VS
کاهو	*Lactuca sativa L.*	وزن تر سر	۱/۳	۱/۷	MS
لوپن	*Lupinus hartwegii Lindl.*	وزن خشک کل گیاه	۰/۷۵-۱	-	S

جدول ۵ – دنباله.

گرمک	*Cucumis meli L. (Reticulatus group)*	وزن خشک شاخه	۲-۴	-	MT
خردل	*Brassica juncea Coss.*	وزن خشک کل گیاه	۲-۴	-	MT
یولاف	*Avena sativa L.*	وزن خشک بذر	۲-۴	-	MT
پیاز	*Allium cepa L.*	مقدار غده	۸/۹	۱/۹	VT
پرتقال	*Citrus sinensis (L.)*	ترتیب برگ‌ها	۰/۵-۰/۷۵	-	S
جعفری	*Petroselinum crispum Nym.*	وزن خشک گیاه	۴-۶	-	T
نخود فرنگی	*Pisum sativa L.*	وزن خشک گیاه	۱-۲	-	MS
هلو	*Prunus persica (L.)*	وزن خشک گیاه	۰/۵-۰/۷۵	-	S
بادام زمینی	*Arachis hypogaea L.*	مقدار بذر	۰/۷۵-۱	-	S
گردو گرمسیری	*Carya illinoinensis*	آسیب برگی	۰/۵-۰/۷۵	-	S
فلفل قرمز	*Capsicum annuum L.*	مقدار میوه	۱-۲	-	MS
خرمالو	*Diospyros lali L.f.*	وزن خشک کل گیاه	۰/۵-۰/۷۵	-	S
آلو زرد	*Prunus domestica L.*	آسیب برگی و ساقه	۰/۵-۰/۷۵	-	S
سیب زمینی	*Solanum tuverosum L.*	وزن خشک غده	۱-۲	-	MS
تربچه نقلی	*Raphanus sativus L.*	وزن تر ریشه	۱	۱/۴	MS
کنجد	*Seamum indicum L.*	آسیب به برگی	۰/۷۵-۱	-	S
جارو رشتی	*Sorghum bicolor*	مقدار دانه	۷/۴	۴/۷	VT
کدو مسمائی	*Cucurbita pepo L.*	مقدار میوه	۴/۹	۹/۸	T
کدو حلوائی	*Cucurbita moschata Poir*	مقدار میوه	۱	۴/۳	MS
نوعی کدو	*Cucurbita pepo L.*	مقدار میوه	۲/۷	۵/۲	MT
توت فرنگی	*Fragaria sp. L.*	وزن خشک کل گیاه	۰/۷۵-۱	-	S
چغندر قند	*Beta vulgaris L.*	وزن تر ریشه ذخیره	۴/۹	۴/۱	T
آفتابگردان	*Helianthus annuus L.*	مقدار بذر	۰/۷۵-۱	-	S
سیب‌زمینی شیرین	*Ipomoea batatas*	وزن خشک ریشه	۰/۷۵-۱	-	S
توتون	*Nicotiana tobacum L.*	وزن خشک	۲-۴	-	MT
گوجه فرنگی	*Lycopersicon lucopersicum*	مقدار میوه	۵/۷	۳/۴	T
شلغم	*Brassica rapa L.*	وزن خشک ریشه	۲-۴	-	MT
-	*Vicia benghalensis L.*	وزن خشک کل گیاه	۴-۶	-	T
گردو	*Juglans regia L.*	آسیب برگی	۰/۵-۰/۷۵	-	S
گندم	*Triticum aestivum L.*	مقدار دانه	۰/۷۵-۱	۳/۳	S

جدول۶- پایه‌های مرکبات و میوه‌های هسته دار به ترتیب تجمع بُر و انتقال آن به قلمه.

نام علمی	نام انگلیسی	نام گیاه
	Citrus	**مرکبات**
Citrus macrophylla	Alemow	-
C. Pennivesiculata or C. moi	Gajanweet orange	-
Severina buxifolia	Chinese box orange	-
C.aurantium	Sour orange	نارنج
X Citrofortunella mitis	Calamondin	-
C. Sinensis	Sweet orange	پرتقال
C. junos	Yuzu	-
C. limon	Rough lemon	لیموشیرین
C.x paradisi	Grapefruit	گریپ فروت
C.x limonia	Rangpur lime	لیموشیرین
x Citroncirus webberi	Troyer citrange	-
x Citroncirus webberi	Savage citrange	-
C. Areticulata	Cleopatra mandarin	-
x Citroncirus webberi	Rusk citrange	-
C. reticulata	Sunki mandarin	-
C. limon	Sweet lemon	لیموشیرین
Poncirus trifoliata	Trifoliate orange	پرتقال سه‌برگی
Poncirus trifoliata x C.paradisi	Citrumelo 4475	پرتقال سه‌برگی
C.reticulata	Ponkan mandarin	-
C.x Tangelo	Sampson tangelo	-
C.maxima	Cuban shaddock	-
C.aurantiifolia	Sweet lime	لیمو شیرین
	Stone fruit	**میوه‌های هسته‌دار**
Prunus duclis	Almond	بادام
P. cerasifera	Myrobalan plum	بادام هندی
P. armeniaca	Apricot	زردآلو
P. domestica	Marianna plum	-
P. persica	Shalil peach	شلیل

۹-۵- بیکربنات

مقایسهٔ اطلاعات موجود دربارهٔ اثر کمّی سطوح مختلف بیکربنات بر گیاهان بسیار محدود است و در این زمینه به پژوهش‌های بیشتری نیاز است. معدود گزارش‌های موجود بیانگر آن است که حساسیت گیاهان مختلف به غلظت HCO_3^- متفاوت است. مثلاً هنگامی که غلظت HCO_3^- برابر با ۱۲mole/m^3 باشد در گیاهِ Paspalum dilatatum ایجاد سمّیت می‌کند ولی هیچگونه اثر منفی بر Chloris- gayana ندارد. به طور کلّی حساسیت نخود و لوبیا به HCO_3^- خیلی بیشتر از چغندر است. هنگامی که در یک محیط آزمایشگاهی غلظت CO_2 هوا در حد ۶/۵ درصد نگاه داشته شد، رشد ریشه‌های نخود و لوبیا به طور کامل متوقف شد و این در حالی بود که گیاه جو رشد طبیعی خود را طی می‌نمود.

۹-۶- سیلینیم و سایر عناصر کم‌نیاز

بسیاری از خاک‌های تحت آبیاری مقدار قابل توجهی سیلینیم و سایر عناصر کم‌نیاز[1] را از مواد مادری خود به ارث برده‌اند. بسیاری از این مواد به آسانی در آب خاک حل می‌شوند و به سمت آب‌های زیرزمینی کم‌عمق حرکت کرده و سرانجام به آنها می‌پیوندند. غلظت مجاز ۱۵ عنصر از این عناصر در آب آبیاری به منظور مدیریت و حفاظت بلند مدت گیاهان و جانوران توسط Pratt و Suarez (۱۹۹۰) گردآوری شده است که خوانندگان جهت اطلاع بیشتر می‌توانند به آن رجوع کنند. در حال حاضر غلظت این عناصر به حدی نیست که بتواند تولید فرآورده‌های زراعی را محدود کند، ولی توجه به مقدار تجمع یافتهٔ آنها در زه‌آبها ضروری است. هنگام کاربرد زه‌آبها برای آبیاری و یا وقتی که زه‌آبها با آب آبیاری مخلوط گردند ممکن است حاوی غلظتی از این عناصر باشند که ایجاد سمّیت می‌نمایند. هم سیلینیم و هم مولیبدن به آسانی توسط گیاهان، دام‌ها و انسان جذب می‌گردند. خطر تخلیه زه‌آبها به کانال‌ها، برکه‌ها و سایر منابع آبی در آن است که عناصر یادشده سرانجام ممکن است به چرخهٔ غذایی انسان و دام وارد شده و زیان‌هایی را به وجود آورند.

---

1 -Micro Elements

اینکه چه مقدار از این عناصر موجود در زه‌آبها می‌تواند توسط گیاه جذب شود، به ترکیب شیمیایی زه‌آب بستگی دارد. چنانچه نمک‌های غالب در زه‌آب از نوع نمک‌های سولفاته باشند، تجمع سیلینیم در سبزیجات و مولیبدن در یونجه کاهش خواهد یافت. گزارش‌هایی در ارتباط با وجود غلظت‌های زیاد U وV در زه‌آبها وجود دارد (Bradford، ۱۹۹۰) ولی هنوز معلوم نیست در صورت استفاده از این زه‌آبها برای آبیاری چه مقدار از آنها توسط گیاه جذب و در اندام‌های آن انباشته خواهد گردید.

۱۰- مهار کردن شوری خاک

اغلب ارقام ارائه شده در جدول‌های ۱ و ۲ واکنش گیاهان را به شوری از زمان کاشت تا برداشت در شرایطی نشان می‌دهند که املاح به طور نسبتاً یکنواختی در نیمرخ خاک پراکنده شده باشند. اما در عمل، چنین شرایطی کمتر محقق شده و معمولاً غلظت املاح در طی زمان و مکان تغییر می‌کند و عملکرد حاصله در حقیقت برآیند همهٔ این تغییرات است. اما به هر حال، بیان مقاومت گیاهان به شوریِ یکنواخت خاک نیز بی‌فایده نیست زیرا با آگاهی از مقاومت متفاوت گیاهان به شوری می‌توان آنها را به درستی در تناوب زراعی جای داد. همچنین، کشاورز می‌تواند با زیادتر شدن سن گیاه اجازهٔ افزایش شوری را بدهد. البته برای جلوگیری از تغییرات شوری در نیمرخ خاک باید آب به مقدار کافی برای چند نوبت آبیاری در دسترس باشد و کیفیت آن حداقل برای یک نوبت آبیاری مطلوب باشد. چنانچه کشاورزان به کیفیت‌های مختلفی از آب دسترسی دارند می‌توانند آنها را متناوباً مصرف کنند و یا با هم مخلوط نمایند.

صرفنظر از اینکه چه مقدار آب آبیاری و با چه کیفیتی در اختیار کشاورزان است، مدیریت آبیاری باید به گونه‌ای باشد که شوری را در حد قابل قبولی ثابت نگه دارد. چنین شرایطی هنگامی تحقق می‌یابد که بیلان نمک به صورتی مناسب برقرار گردد. البته این بدان معنی نیست که نیاز آبشویی[1] محاسبه شده را باید در هر آبیاری اعمال کرد. معمولاً

1 -Leaching Requirement

با نزدیک شدن به پایان فصل زراعی "جزء آبشویی"[1] کاهش می‌یابد. در حقیقت با گذشت زمان (نزدیک شدن به پایان فصل زراعی) نیاز تبخیری نیوار افزایش می‌یابد و ریشه‌های گیاه به اعماق پایین‌تر نفوذ می‌کنند و در این حالت باید جزء آبشویی کمتری اعمال نمود. اعمال جزء آبشویی بالا برای مدتی نسبتاً طولانی اشباع شدن خاک را به دنبال داشته و این خود نیز موجب مبتلا شدن ریشه به بیماری‌های گوناگون می‌گردد. به رغم این واقعیت حتی اگر روش آبشویی برگزیده شده غرقاب متناوب باشد، جهت حفظ بیلان نمک در حد قابل قبول باید فرآیند آبشویی انجام پذیرد.

در پایان به این مهم اشاره می‌کنیم که نگهداری بیلان نمک در حد مطلوب چه در سطح مزرعه و چه در مقیاس منطقه‌ای تنها و تنها هنگامی امکان‌پذیر است که شرایط زهکشی خاک مناسب و کافی باشد. چنانچه گیاه در جایی کشت شود که سطح ایستابی شور در آن کم‌عمق باشد، همچنان در معرض خطر خواهد بود. زیرا با اعمال فرآیند آبشویی، سطح ایستابی بالا آمده و مشکلات شوری دو چندان می‌شود. چنین مشکلی تنها با وجود **شرایط زهکشی مناسب تعدیل شده و امکان تولید محصولات کشاورزی در درازمدت فراهم می‌آید**.

۱۱- مصرف کود در خاک‌های شور

۱۱-۱- کلیّات

تاریخچهٔ مطالعهٔ واکنش گیاهان به عناصر غذایی مختلف در خاک‌های غیر شور به بیش از یکصد سال بالغ می‌گردد. روش رایج برای بررسی واکنش گیاه به یک عنصر غذایی مشخص، دادن کلیهٔ عناصر مورد نیاز به آن، به جز عنصر مورد مطالعه است. بر این اساس، واکنش گیاه به یک عنصر غذایی مشخص در دامنهٔ "حد کمبود"، "حد کفایت" و "حد سمّیت" توسط میچرلیخ به طور گسترده‌ای مورد مطالعه قرار گرفت که منجر به ارائهٔ نظریهٔ "بازدهٔ نزولی" در سال ۱۹۰۹ گردید. در این آزمایش‌ها که عمدتاً با استفاده از ازت به عنوان عنصر محدودکننده صورت گرفت، به خوبی مشاهده گردید که با افزایش ازت،

1 -Leaching Fraction

مقدار محصول افزایش یافته و از حدی به بعد (حد سمّیت) افزایش آن منجر به کاهش محصول می‌گردد. هنگامی که از شوری خاک سخن می‌گوییم در حقیقت بیشبود یک یا چند عنصر را مطرح می‌کنیم که در این صورت می‌توان قانون بازدهٔ نزولی میچرلیخ را منشاء اولیهٔ بررسی اثر شوری بر عملکرد گیاه دانست. با این حال، علیرغم وجود بیش از حد یک عنصر غذایی در محلول خاک که می‌تواند منشاء شوری باشد، در خاک‌های شور کمبود برخی عناصر غذایی نیز مشهود است. در این صورت و نیز در صورتی که بخواهیم مسئلهٔ عدم تعادل بین عناصر غذایی خاک‌های شور را مطرح کنیم، قانون بازدهٔ نزولی از ارائه یک راه حل کمّی ناتوان است.

در خاک‌های شور، اثرات متقابل شوری و حاصلخیزی خاک از نقطه نظر تولیدِ حداکثر اهمیت فراوان دارد. همانطور که در بخش‌های پیشین به طور مشروح بحث شد، بررسی اثر شوری خاک بر عملکرد در خاک‌هایی مطرح بود که از نظر حاصلخیزی مشکلی نداشته و رطوبت آنها در حد کافی است. سپس اثر مقادیر مختلف شوری بر عملکرد به صورت کمّی بیان گردید. هرچند که این خود گامی مهم در بهره‌برداری از خاک‌های شور است، لیکن همانگونه که گفته شد این نوع معادلات تنها در شرایطی خاص از نظر حاصلخیزی صادق بوده و اثر کمبود عناصر مهمی چون ازت، فسفر و پتاسیم را بیان نمی‌کنند.

پژوهش‌ها نشان می‌دهد که در سطح مشخصی از حاصلخیزی خاک، با افزایش شوری، مقدار عملکرد کاهش می‌یابد؛ لیکن در یک شوری معین مصرف کود منجر به افزایش محصول می‌گردد. حالت اول مربوط به بالارفتن فشار اسمزی و کاهش قابلیت جذب آب توسط گیاه است. اما در حالت دوم هرچند که مکانیسم واکنش چندان شناخته شده نیست، ولی گمان بر این است که افزودن کودهای شیمیایی (پرمصرف و کم‌مصرف) در خاک‌های شور موجب بروز نوعی دگرگونی شیمیایی در محلول خاک می‌شود که سرانجام به افزایش عملکرد منتهی می‌گردد. نتیجهٔ تغییرات یادشده در خاک به گونه‌ای است که منجر به دگرگونی‌هایی در ترکیبات شیمیایی داخلی گیاه گردیده و نهایتاً عملکرد

افزایش می‌یابد. با این حال نباید از نظر دور داشت که اثرات یادشده به نوع گیاه، نوع کود مصرفی و شرایط زراعی بستگی دارند.

معمولاً واکنش مثبت گیاه به مصرف کود در خاک‌های شور منحصر به شوری‌های کم تا متوسط (معمولاً تا حدود ۱۰ dS/m) است. در شوری‌های بالاتر به جهت بالارفتن تجمعی فشار اسمزی، واکنش گیاه منفی بوده و عملکرد کاهش می‌یابد. ناگفته نماند که بیان فوق عبارتی کلّی بوده و حاصل از آزمایش‌هایی است که در آنها غالباً از NaCl برای شور شدن خاک استفاده شده است. در حالیکه تجربیات موجود بیانگر آن است که در سطوح بالاتری از شوری، مصرف بهینهٔ کود می‌تواند به افزایش عملکرد منتهی گردد. جدول ۷ نتایج حاصل از یکی از این آزمایش‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۷- اثرمصرف مقادیر مختلف کود ازتی در سطوح مختلف شوری بر عملکرد گندم (گرم در گلدان).

شوری عصارهٔ اشباع خاک	مقدار ازت مصرف شده(میلی‌گرم ازت در کیلوگرم خاک)			
dS/m	۰	۸۰	۱۲۰	۱۶۰
۱/۳	۵/۸	۱۶/۸	۲۲/۲	۲۶/۷
۸/۲	۱۴/۴	۲۷/۲	۲۸/۲	۳۰/۵
۱۵/۹	۳/۵	۶/۳	۸/۲	۱۰/۱
۱۷/۹	۳/۱	۱/۰	۱/۸	۰/۷

جدول فوق روند کلّی اثرات متقابل شوری- کود را نشان می‌دهد وحدود و ثغور ارقام مندرج در آن برای شرایطی که آزمایش در آن صورت گرفته صادق است و از منطقه‌ای به منطقهٔ دیگر قابل تغییر است. بنابراین، برای خاک‌های شور کشورمان که از نظر اقلیمی با هم تفاوت دارند باید از تعمیم نتایج دیگران اجتناب ورزید و چنین آزمایشاتی را در کمال دقت انجام داد.

چنانچه کلیهٔ عناصر غذایی مورد نیاز گیاه به قدر کافی در خاک وجود داشته باشند، شوری خاک عاملی محدودکننده برای جذب عناصر غذایی بوده و مکانیسم جذب را بر هم می‌زند. مثلاً در یک خاک شور که کاتیون‌ها و آنیون‌های غالب را به ترتیب Na، Ca، Mg، Cl و SO_4 تشکیل می‌داد، مقدار Mn، Na، Mg و Zn برداشت شده توسط گیاه جو افزایش و جذب P، K، Ca و Fe کاهش یافت (Hassan و همکاران، ۱۹۷۰).

برخی از محققین بر این باورند که مصرف کودهای شیمیایی ممکن است باعث وخیم‌تر شدن اثرات ناشی از شوری خاک گردد. مثلاً Lunin و Gallatin (۱۹۶۵) نشان دادند که با مصرف کودهای شیمیایی، شوری خاک افزایش می‌یابد. به رغم چنین مشاهداتی نباید فراموش کرد که در عمل، فقدان عناصر غذایی مورد نیاز گیاه در خاک‌های شور فی‌نفسه عاملی مهم در کاهش محصول است. حتی هنگامی که خاک‌های شور توسط آبشویی اصلاح می‌گردند، به جهت شسته شدن برخی از عناصر غذایی موجود در خاک، سطح حاصلخیزی خاک به شدت کاهش می‌یابد. از آنچه که گفته شد نتیجه می‌شود که قابلیت استفادهٔ عناصر غذایی به سه صورت از شوری خاک متأثر می‌گردد:

الف- از طریق ایجاد تغییراتی در نگهداری، تثبیت و تبدیل عناصر غذایی در خاک،
ب- از طریق ایجاد اختلال در جذب عناصر غذایی توسط ریشه‌ها و کاهش رشد آنها،
ج- از طریق مختل کردن متابولیسم عناصر غذایی در درون گیاه که عمدتاً مربوط به کاهش جذب آب توسط گیاه است.

اثرات متقابل شوری و حاصلخیزی خاک را می‌توان به دو بخش تقسیم کرد. اثرات شیمیایی درون خاک، و تأثیر این فرآیندها بر عملکرد که ذیلاً به آن پرداخته می‌شود.

۱۱-۲- اثر کود بر تغییرات شیمیایی خاک

رایج‌ترین پژوهش‌های انجام شده پیرامون اثر کود بر تغییرات شیمیایی خاک مربوط به مصرف کودهای تک عنصری N، P و K است و اثر کودهای ترکیبی کمتر مورد

مطالعه قرار گرفته است. به طور کلّی، با مصرف کودهای ازتی، شوری خاک به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد زیرا نمک‌های ازتی از حلالیت زیادی برخوردار بوده و خود نیز موجب حلالیت سایر نمک‌هایی می‌گردند که از قبل در خاک وجود داشته‌اند. بنابراین، مصرف کودهای ازتی به صورت تجمعی شوری خاک را افزایش می‌دهد. مصرف کودهای ازتی نظیر NH_4NO_3 موجب کاهش pH خاک گردیده و در نتیجه حلالیت Ca، Mg و K افزایش می‌یابد. در مقایسه با کودهای ازتی، کودهای فسفری معمولاً شوری خاک را اندکی کاهش می‌دهند زیرا با افزودن این کودها به خاک مقداری فسفات‌های کلسیم و منیزیم که غیرمحلول هستند تشکیل شده و بنابراین بخشی از شوری که مربوط به یون‌های محلول کلسیم و منیزیم بوده از کل شوری خاک کسر می‌گردد. پتاسیم در مقایسه با ازت اثر چندانی بر pH خاک نداشته و در مقایسه با فسفر، موجب تشکیل نمک‌های غیرمحلول نمی‌شود. بنابراین، افزودن پتاسیم به خاک به تنهایی موجب افزایش شوری خاک می‌گردد، اما این افزایش به اندازهٔ کودهای ازتی نیست. آنچه که گفته شد مربوط به کودهای تک عنصری است، حال آنکه کودهای شیمیایی معمولاً ترکیبی از چند عنصرند و بنابراین اثرات متقابل آنها در حضور یکدیگر اهمیت کاربردی فراوان دارد. یکی از مطالعات اولیه و کلاسیک در این باره توسط Lunin و Gallatin (۱۹۶۵) صورت گرفته که نتیجهٔ آن در جدول ۸ آمده است. در این آزمایش که در یک خاک با بافت Silty Caly Loam صورت گرفته از چهار سطح مختلف شوری استفاده شده است. در سطح A آب مقطر و در سطوح B، C و D به ترتیب آب آبیاری با شوری ۲، ۴ و ۶ دسی زیمنس بر متر بکار رفته است. در این جدول اثرات مستقل هر یک از کودهای تک عنصری و نیز کودهای ترکیبی بر ترکیب شیمیایی خاک به خوبی نشان داده شده است. همانگونه که در جدول مشخص است، pH، EC و غلظت یون‌های Ca، Mg، Na و K محلول خاک شدیداً تحت تأثیر نوع کود داده شده می‌باشد.

جدول ۸- اثرات متقابل کود و شوری بر برخی خواص شیمیایی خاک.

سطح شوری	کود مصرفی							
	شاهد (بدون کود)	N	P	K	NP	NK	PK	NPK
	pH خاک							
A	۵/۴۲	۵/۱۳	۵/۳۲	۵/۲۹	۵/۱۳	۵/۰۹	۵/۱۸	۵/۰۴
B	۵/۲۸	۴/۹۹	۵/۱۶	۵/۰۴	۴/۹۵	۴/۹۶	۵/۱۱	۴/۹۸
C	۵/۰۶	۴/۸۹	۵/۰۶	۵/۰۴	۴/۹۳	۴/۸۸	۵/۰۹	۴/۹۴
D	۵/۰۰	۴/۸۵	۵/۰۱	۴/۹۸	۴/۸۱	۴/۸۴	۵/۰۲	۴/۸۸
	EC_e(dS/m)							
A	۱/۷	۲/۰	۱/۲	۱/۸	۱/۳	۲/۴	۱/۴	۱/۵
B	۳/۵	¾	۳/۴	۳/۷	۳/۸	۵/۱	۳/۸	۴/۲
C	۵/۵	۶/۴	۵/۷	۵/۶	۶/۸	۷/۰	۶/۵	۷/۲
D	۷/۸	۹/۲	۷/۸	۸/۰	۸/۴	۱۰/۳	۷/۹	۸/۸
	Ca^{2+}(meq/100g)							
A	۰/۴۱	۰/۶۱	۰/۳۱	۰/۵۲	۰/۳۶	۰/۷۷	۰/۳۹	۰/۴۵
B	۰/۶۷	۰/۹۶	۰/۶۲	۰/۷۹	۰/۷۵	۱/۱۵	۰/۷۴	۰/۸۶
C	۰/۸۷	۱/۱۸	۰/۹۲	۱/۱۱	۱/۰۷	۱/۳۸	۱/۰۳	۱/۴۰
D	۱/۳۵	۱/۷۱	۱/۲۹	۱/۲۹	۱/۴۷	۱/۶۴	۱/۲۳	۱/۴۶
	Mg^{2+}(meq/100g)							
A	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۷	۰/۰۴	۰/۰۳
B	۰/۰۹	۰/۱۵	۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۱۰	۰/۱۳	۰/۱۰	۰/۱۱
C	۰/۱۶	۰/۲۰	۰/۱۶	۰/۲۰	۰/۱۸	۰/۲۴	۰/۱۸	۰/۲۲
D	۰/۲۷	۰/۳۲	۰/۲۵	۰/۲۳	۰/۲۷	۰/۳۱	۰/۲۴	۰/۲۹
	Na^{+}(meq/100g)							
A	۰/۱۶	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳
B	۰/۵۳	۰/۵۹	۰/۵۴	۰/۵۵	۰/۶۲	۰/۶۳	۰/۶۰	۰/۷۸
C	۱/۰۴	۱/۰۲	۱/۱۲	۱/۱۵	۱/۲۱	۱/۲۳	۱/۲۰	۱/۳۰
D	۱/۷۶	۱/۸۵	۱/۸۷	۱/۶۴	۱/۸۰	۱/۷۸	۱/۶۲	۱/۶۹
	K^{+}(meq/100g)							
A	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۱۱	۰/۰۳	۰/۱۵	۰/۰۵	۰/۰۵
B	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۱۲	۰/۰۳	۰/۱۸	۰/۱۰	۰/۰۷
C	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۱۷	۰/۰۵	۰/۲۳	۰/۱۴	۰/۱۵
D	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۰۷	۰/۲۶	۰/۱۲	۰/۳۲	۰/۱۷	۰/۱۹

یکی از روش‌های کمّی کردن اثر کودهای مختلف بر پتانسیل اسمزی خاک، شاخص نمک[1] است که برای نخستین بار توسط Rader و همکاران (۱۹۴۳) پیشنهاد گردید. شاخص نمک شاخصی است که اثر کودها را اعم از تک عنصری و یا ترکیبی بر پتانسیل اسمزی محلول خاک نشان می‌دهد. طبق تعریف، شاخص نمک (SI) عبارت از نسبت افزایش پتانسیل اسمزی ناشی از یک کود شیمیایی به مقدار هم وزن نیترات سدیم است و به صورت زیر بیان می‌شود:

$$SI = \frac{P}{P'} \times 100 \qquad (۳۱)$$

که در آن p افزایش پتانسیل اسمزی ناشی از کاربرد وزن معینی از کود و P' فشار اسمزی ناشی از همان وزن نیترات سدیم در شرایط مشابه است. بدیهی است که مقدار SI برای خود نیترات سدیم ۱۰۰ می‌باشد. لازم به ذکر است که این شاخص میزان کودی را که در یک خاک معین مستقیماً موجب آسیب به گیاه می‌شود تعیین نمی‌کند بلکه اثرات یادشده را به صورت غیر مستقیم یعنی از طریق افزایش فشار اسمزی نشان می‌دهد. جدول ۹ شاخص نمک کودهای رایج را نشان می‌دهد. همانگونه که در این جدول مشخص شده، شاخص نمک کلرورهای پتاسیم و سدیم بسیار بالا است که مربوط به حلالیت زیاد این نمک‌ها و تأثیری است که بر افزایش پتانسیل اسمزی محلول خاک می‌گذارند. به طور کلی، کودهای فسفری SI کمتری دارند، زیرا از حلالیت پایین‌تری برخوردارند. کودهای ازتی بسته به حلالیت خود و pH خاک شاخص‌های متفاوتی را نشان می‌دهند. در ارتباط با جدول ۹ ذکر این نکته ضروری است که هرچند این مقادیر در یک خاک شنی (۴/۲٪ رس، ۱۰/۶٪ سیلت و ۸۵/۲٪ شن) به دست آمده‌اند، لیکن آزمایش‌های انجام شده بر روی شش خاک دیگر که بافت آنها از لومی شنی تا رسی متغیر بود نیز ارقام نسبتاً مشابهی را نشان داد.

1 -Salt Index

جدول ۹- شاخص نمک برای برخی از کودهای شیمیایی رایج.

کود مصرفی	درصد خلوص	شاخص نمک
کودهای ازتی		
آمونیوم	۸۲/۲	۴۷/۱
نیترات آمونیوم	۳۵/۰	۱۰۴/۷
مونو فسفات آمونیوم	۱۲/۲	۲۹/۹
دی فسفات آمونیوم	۲۱/۲	۳۴/۲
سولفات آمونیوم	۲۱/۲	۶۹/۰
نیترات کلسیم	۱۱/۹	۵۲/۵
نیترات پتاسیم	۱۳/۸	۷۳/۶
نیترات سدیم	۱۶/۵	۱۰۰/۰
اوره	۴۶/۴	۷۵/۴
کودهای فسفری		
مونو فسفات آمونیوم	۶۱/۷	۲۹/۹
دی فسفات آمونیوم	۵۳/۸	۳۴/۲
مونو فسفات کلسیم	۵۶/۳	۱۵/۴
مونو فسفات پتاسیم	۵۲/۲	۸/۴
مونو فسفات سدیم	۵۱/۴	۳۶/۲
سوپر فسفات	۱۶/۰	۷/۸
سوپر فسفات	۲۰/۰	۷/۸
سوپر فسفات	۴۸/۰	۱۰/۱
کودهای پتاسیمی		
کلرید پتاسیم	۶۳/۲	۱۱۴/۳
نیترات پتاسیم	۴۶/۶	۷۳/۶
سولفات پتاسیم	۵۴/۰	۴۶/۱
سایر کودها		
کربنات کلسیم	۵۶/۰	۴/۷
سولفات کلسیم	۳۲/۶	۸/۱
کلرید سدیم	۵۳/۰	۱۵۳/۸
سولفات سدیم	۴۳/۶	۷۴/۲

۱۱-۳- اثر شوری بر تغییرات شیمیایی کود

بیشتر ترکیبات ازتی که به خاک داده می‌شوند (مانند اوره) یا مستقیماً قابل دسترس گیاه نیستند و یا همانند کودهای آمونیومی به دلیل عدم تحرک[1] شیمیایی لازم به میزانی اندک قابل دسترس هستند. شرط لازم برای جذب چنین ترکیباتی توسط گیاه، اعمال فرآیندهای میکروبیولوژیکی در خاک و تبدیل آنها به اشکال قابل جذب (نظیر یون نیترات) است. شوری خاک، فرآیند اخیر را که معدنی شدن[2] نام دارد شدیداً تحت تأثیر قرار می‌دهد. براساس مطالعات Westerman و Tucker (۱۹۷۴) این فرآیند به نوع نمک موجد شوری بستگی دارد. در پژوهشی که توسط نامبردگان صورت گرفت، خاک با کلرورهای کلسیم، مس و سدیم شور گردید و به مقداری برابر به کلیهٔ تیمارها کود ازتی داده شد. در روز چهل و نهم آزمایش به ترتیب ۷۵، ۸۰ و ۵۹ درصد کودهای ازتی به صورت یون NH_4 در خاک باقی ماند. همانگونه که ملاحظه می‌شود، اثر بازدارندگی نمک سدیمی بر معدنی شدن ازت کمتر از دو نمک دیگر است. هنگامی که شوری خاک به وسیلهٔ نمک‌های یادشده افزایش یافت، فرآیند معدنی شدن نیز کاهش یافت و ترتیب و توالی فوق‌الذکر تقریباً به همان صورت دنبال شد. در یک شوری معین، هنگامی که معدنی شدن ازت در خاک‌های حاوی کلرور مس و کلرور کلسیم کاملاً متوقف شده بود، در تیمار کلرور سدیم به میزان کمی ادامه داشت. این آزمایش‌ها تا حدودی علت عدم واکنش مثبت گیاه به مصرف کودهای ازتی را در بعضی از خاک‌های شور بیان می‌کند. در چنین خاک‌هایی بهتر است از کودهایی نظیر نیترات کلسیم که برای جذب توسط گیاه نیازی به طی فرآیند معدنی شدن ندارند استفاده نمود.

هنگامی که کود ازتی به همراه آب آبیاری شور بکار برده شود (کود- آبیاری)[3]، تأثیر مهمی بر مصرف ازت موجود درخاک برجای می‌ماند. ازت موجود در خاک شامل مجموع

---

1 -Immobility
2 -Nitrification
3 -Fertigation

ازتی است که در مواد آلی خاک (به شرط وجود) و آمونیوم و نیترات جذب شده وجود دارد که برای جذب آن توسط گیاه فرآیند معدنی شدن الزامی است. Broadbent و Nakashima (۱۹۷۱) و Westerman و Tucker (۱۹۷۴) دریافتند که مصرف کود ازتی به همراه آب آبیاری با شوری کم فرآیند معدنی شدن ازت را تسهیل می‌بخشد. علت را می‌توان به یک یا دو عامل زیر مرتبط دانست. اولاً با افزایش ازت آلی، معدنی شدن آن آسانتر صورت می‌گیرد. ثانیاً مصرف ازت باعث سهولت در تجزیه میکروبیولوژیک مواد آلی خاک می‌گردد. به تدریج که از آب آبیاری شورتری استفاده گردید، این اثر مثبت ناپدید شد زیرا با بالارفتن فشار اسمزی محلول خاک، فعالیتهای میکروبیولوژیک خاک تقریباً متوقف گردید.

تبدیل ازت موجود در هوا توسط برخی گیاهان به ازت آلی را فرآیند "تثبیت ازت" گویند که خود یکی از منابع تأمین ازت مورد نیاز گیاهان است. در فرآیند تثبیت ازت، فعالیت باکتری ریزوبیوم منجر به تشکیل غده‌هایی بر روی ریشهٔ برخی گیاهان می‌شود که می‌توانند ازت هوا را دریافت و به صورت قابل استفادهٔ گیاه تبدیل کنند. این فرآیند بر اثر شوری کاهش می‌یابد و یا متوقف می‌شود. هرچند که مکانیسم این اثر هنوز کاملاً شناخته شده نیست ولی می‌توان آنرا به دو عامل مرتبط دانست. نخست اینکه با افزایش فشار اسمزی و کاهش پتانسیل آب (انرژی آزاد آب)، غده‌های تثبیت‌کنندهٔ ازت مقداری از آب خود را از دست داده و در نتیجه برخی فرآیندهای متابولیکی آنها مختل می‌گردد. دوم اینکه شوری خاک سبب آسیب رساندن به سلولهای بیرونی غده‌های تثبیت‌کننده ازت شده و فرآیند انتقال مواد را متوقف می‌نماید. تحقیقات انجام شده توسط Sprent (۱۹۷۲) نشان می‌دهد که تثبیت ازت در سویا در غلظت ۰/۱۲ مولار کلرور کلسیم به شدت کاهش می‌یابد. Vincent (۱۹۷۴) نیز نشان داد که چنانچه غلظت نمک‌های $CaCl_2$، KCl، $NaNO_3$ و Na_2SO_4 به ترتیب ۰/۱۴، ۰/۳ تا ۰/۶، ۰/۱۵ تا ۰/۳ و ۰/۳ تا ۱/۲ مولار باشد، فرآیند تثبیت ازت به کلی متوقف خواهد شد.

۱۱-۴- اثر مصرف کود در خاک‌های شور بر عملکرد گیاهان

منابع موجود دربارهٔ مصرف کود در اراضی شور حاوی گزارشات ضد ونقیضی است که عمدتاً مربوط به تنوع گیاهان مورد مطالعه، تنوع املاح محلول موجود در خاک و ترکیب شیمیایی کودهای کاربردی می‌باشد. در زیر، اثر کودهای مختلف را بر محصول در شرایط شور بیان می‌کنیم. **از ابتدا نیز این نکته را یادآور می‌شویم که از نقطه نظر کاربردی باید به شرایطی که هر آزمایش در آن محقق شده توجه کامل نمود و از بسط نتایج به دست آمده به خاک‌ها و شرایطی که شباهتی به شرایط آزمایش ندارند خودداری کرد.**

۱۱-۴-۱- ازت

مطالعات اولیه‌ای که توسط Bernstein و Ayers (۱۹۵۳) و Broadbent و Nakashima (۱۹۷۱) صورت گرفته نشان می‌دهد که درصد مادهٔ خشک ذرت و پنبه با افزایش شوری کاهش، و با مصرف ازت افزایش می‌یابد. در حالتی که خاک شور دچار فقرغذایی باشد، رشد گیاه به واسطهٔ کمبود ازت محدود می‌گردد. چنانچه شوری خاک در این حالت افزایش یابد کمبود ناشی از ازت بیشتر نمایان می‌شود. این موضوع در شوری‌های بالاتر از ۸dS/m به خوبی نمایان می‌شود و معمولاً نشانهٔ ظاهری آن کاهش تولید مادهٔ خشک ساقه بیش از برگ‌ها است. این مشاهدات همچنین نشان داد که با افزودن ازت و افزایش شوری، مقدار ازت تجمع یافته در این دو گیاه افزایش می‌یابد. به نظر می‌رسد که ذرت و پنبه در شرایط شور به رغم کاهش مادهٔ خشک، تمایل به انباشت ازت دارند. بدین ترتیب در شرایط یادشده در نتیجهٔ کاهش محصول، بازدهٔ کود ازتی نیزکاهش می‌یابد که بیشتر مربوط به اثرات زیان‌بار ناشی از شوری خاک بوده تا جذب ازت. از سوی دیگر، با کاربرد کود فسفری، مشاهده شد که درصد فسفر در گیاه ثابت می‌ماند. علت عدم افزایش فسفر در گیاه را می‌توان به تحرک شیمیایی آن مرتبط ساخت.

هنگامی که ازت به صورت محلول مصرف گردد، تحرک[1] یون نیترات تحت تأثیر شوری خاک قرار نگرفته و بنابراین قادر است که در سطح ریشه‌ها حضوری نسبتاً یکنواخت داشته باشد. در حالیکه تحرک فسفر به دلیل حلالیت اندک خود محدود می‌گردد. هنگامی که غلظت کلسیم و منیزیم با افزایش شوری در محلول خاک افزایش می‌یابد، نه تنها مقدار بیشتری فسفر به صورت گونه‌های غیر قابل جذب گیاه رسوب می‌کند، بلکه رشد ریشه‌ها نیز بر اثر افزایش شوری کاهش می‌یابد و بدین ترتیب کل سطح تماس ریشه با عناصر غذایی موجود در خاک کاهش می‌یابد.

برخی جنبه‌های مهم مربوط به مصرف ازت در خاک‌های شور را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

الف- خاک‌های شور عمدتاً خود دارای کمبود ازت بوده و از فقر این عنصر غذایی رنج می‌برند.

ب- مقدار زیادی ازت به صورت NO_3^- از راه آبشویی به هدر می‌رود. زیرا در خاک‌های شور برای حفظ شوری در حدی معین، مقدار بیشتری آب مصرف می‌گردد (نیاز آبشویی).

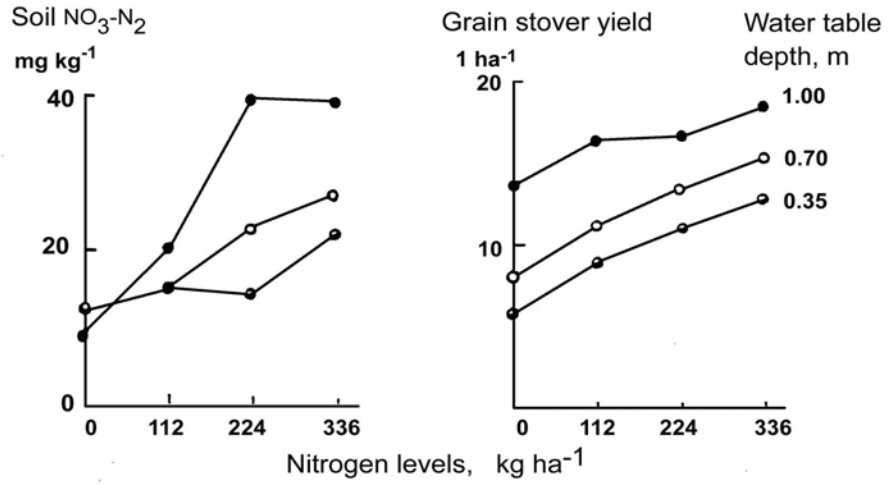
ج- به جهت بالا بودن شوری، معدنی شدن آمونیاک کاهش می‌یابد. به علاوه، بالا بودن غلظت کُلر منجر به کاهش فعالیت باکتری‌ها گردیده و این نیز به نوبهٔ خود معدنی شدن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. Westerman و Tucker (۱۹۷۴) در یک آزمایش مشاهده کردند که غلظت بالای املاح محلول در خاک منجر به کاهش معدنی شدن ازت و تجمع آمونیاک می‌گردد. McClamg و Frankenberger (۱۹۸۵) گزارش کردند که در خاک‌های شور، هرچند که هیدرولیز اوره و در نتیجه تولید آمونیاک از شوری متأثر نگردید، ولی معدنی شدن ازت به شدت کاهش یافت. بنابراین، غلظت بالای املاح محلول در خاک منجر به جلوگیری از معدنی

1 -Mobility

شدن ازت و در نتیجه کاهش تولید یون NO_3^- می‌شود. در نتیجه، گیاهانی که ازت را فقط به صورت NO_3^- جذب می‌کنند، علائم کمبود ازت را بروز می‌دهند هرچند که مقدار ازت در خاک کافی باشد. بنابراین، بهتر است که در خاک‌های شور از کودهای نیتراتی به جای کودهای آمونیومی استفاده نمود.

د- به دلیل اثر آنتاگونیستیکی Cl^- و SO_4^{2-} بر NO_3^-، مقدار جذب نیترات در خاک‌های شور کاهش می‌یابد. با این حال کل مقدار ازت جذب شده توسط گیاه از سطح شوری خاک متأثر نمی‌گردد. به عنوان مثال در یک آزمایش، درصد ازت درگیاه جو با مصرف کود ازتی در کلیهٔ سطوح شوری افزایش یافت. بنابراین، در شرایط شور به رغم کاهش مقدار مادهٔ خشک، گیاه به تجمع ازت در خود ادامه می‌دهد. (Langdale و Thomas، ۱۹۷۱).

در آن دسته از خاک‌های شور که ماندابی نیز هستند، تهویهٔ ضعیف باعث کاهش جذب ازت توسط گیاه می‌گردد. مشاهدات نشان می‌دهد که چنانچه مقداری مشخص کود ازتی به خاک داده شود، مقدار نیترات در خاکی که سطح ایستابی آن بالا است به مراتب کمتر از خاکی است که سطح ایستابی در آن پایین است. زیرا در شرایط غیرهوازی مقدار زیادی از NO_3^- طی فرآیند احیاء به NO_2 تبدیل می‌شود (Woodruff و همکاران، ۱۹۸۲). در این پژوهش که اثرات مصرف ازت بر گیاه ذرت مورد مورد مطالعه قرار گرفته بود، نتیجه‌گیری شد که در شرایط غیر هوازی (سطح ایستابی بالا) باید مقدار بیشتری کود ازتی مصرف نمود تا به حداکثر محصول دست یافت. شکل ۹ روند این تغییرات را نشان می‌دهد. در برخی از مناطق شور بر اثر آبیاری سنگین و یا بارندگی شدید ممکن است خاک برای مدتی ماندابی شود. در چنین خاک‌هایی نیز چنانچه پدیدهٔ ماندابی شدن نسبتاً طولانی شود و در شرایطی به صورت غیر هوازی درآید، برگ گیاهان علائم کمبود ازت را بروز می‌دهند (زرد شدن). بدیهی است برای جبران این کمبود، باید مقدار بیشتری کود ازتی مصرف کرد.



شکل ۹- مقدار نیترات خاک و عملکرد دانه ذرت به عنوان تابعی از ازت معدنی و عمق سطح ایستابی.

هـ- در خاک‌های شور، به دلیل اثر سمّیت املاح بر ریزوبیوم‌ها و کاهش شدید غده‌های تثبیت‌کنندهٔ ازت، تثبیت زیستی این عنصر به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. در برخی آزمایشات، حداکثر شوری قابل تحمل برای تثبیت‌کنندهٔ زیستی ازت در نخود ۴/۵ دسی زیمنس بر متر گزارش شده است. این مقدار برای سایر گیاهان متفاوت بوده و از شرایطی به شرایط دیگر تغییر می‌کند.

و- در خاک‌های شور، متابولیسم ازت در درون گیاه مختل می‌گردد که عمدتاً مربوط به بالا بودن فشار اسمزی محلول خاک و کاهش قابلیت استفادهٔ آب توسط گیاه است. در یکی از مطالعات مشخص گردید که با افزایش فشار اسمزی، مقدار ازت آلی و پروتئین موجود در ریشه‌های نخود کاهش می‌یابد و این در حالی بود که ازت نیتراتی افزایش یافت. این موضوع نشان می‌دهد که سنتز پروتئین بر اثر شوری محدود می‌گردد (Grattan و Grieve، ۱۹۹۹). نتیجهٔ دیگری که از این تحقیق و پژوهش‌های مشابه به دست می‌آید این است که مقدار کل ازت گیاهی، شاخصی مناسب برای ارزیابی وضعیت ازت در خاک‌های شور نیست، و بهتر

است مقدار ازت پروتئینی ملاک ارزیابی قرار گیرد. پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد که در گیاهان مقاوم به شوری، ازت پروتئینی شاخصی ثابت‌تر بوده و در دو گونهٔ گندم مقدار آن تا شوری ۱۶ dS/m تغییر نیافت.

از آنچه که گفته شد و برمبنای پژوهش‌های پرشماری که در مناطق خشک و نیمه خشک صورت گرفته چنین استنباط می‌گردد که مصرف کود ازتی در خاک‌های شور به مقدار کمتری از آنچه که در خاک‌های غیر شور و معمولی مرسوم است، واکنش مثبت گیاه را به همراه دارد. مثلاً هنگامی که به ترتیب ۴۰ و ۹ کیلوگرم در هکتار کود ازتی و فسفری در منطقه‌ای از هند بکار گرفته شد، حداکثر محصول برنج به دست آمد. بدیهی است که مقدار لازم این کودها در خاک‌های غیر شور برای برنج به مراتب بیشتر از این مقدار است. مقدار ازت مصرفی به میزان ۴۰ کیلوگرم در هکتار منجر به تولید حداکثر محصول سیب گردید و حال آنکه افزایش کود ازتی تا ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار، افزایش بیشتری را عاید نساخت (Sharma، ۱۹۸۰).

بدیهی است که نه تنها مقدار، بلکه روش، زمان مصرف و نوع کود ازتی مصرفی بازدهٔ مصرف کود را تحت تأثیر قرار می‌دهد. مصرف چند بارهٔ کودهای ازتی همانند خاک‌های غیر شور، بیشترین بازده را دارد. در خاک‌های شور، پخش کود ازتی مصرفی در سطح خاک باید پس از آبیاری و نه پیش از آن صورت پذیرد، زیرا مقدار شوری خاک در ناحیهٔ رشد ریشه در فاصلهٔ بین دو آبیاری افزایش می‌یابد. مقدار املاح تجمع یافته که غلظت آن درست پیش از آبیاری به حداکثر می‌رسد، از معدنی شدن ازت و فراهم شدن آن برای استفادهٔ گیاه جلوگیری می‌نماید.

محلول‌پاشی ازت در خاک‌های شور (محلول ۳ درصد اوره، به مقدار ۲۰ کیلوگرم ازت در هکتار) به همراه مصرف خاکی آن بسیار اقتصادی و مفید است. این روش به ویژه در مناطقی که کیفیت آب آبیاری مطلوب نبوده و با هر بار آبیاری مقدار زیادی املاح محلول وارد خاک می‌گردد، اهمیت فراوان دارد. زیرا دست‌کم یک بار در مصرف آب صرفه‌جویی گردیده و از ورود آن مقدار املاح محلول که علی‌القاعده به همراه آب آبیاری (پیش از پخش کود سطحی به خاک داده می‌شده) وارد خاک می‌شود جلوگیری می‌گردد. Sharma (۱۹۸۰) مشاهده کرد که برگ‌پاشی ازت به میزان ۷۵ درصد و پخش سطحی به

میزان ۲۵ درصد کل ازت مصرفی، بهترین نتیجه را می‌دهد. به طور کلی از میان کودهای رایج ازتی، اوره نتیجهٔ بهتری نسبت به سولفات آمونیوم در شوری‌های کم و متوسط عاید می‌سازد. ولی در شوری‌های زیاد بهتر است از کودهای نیتراتی و نه آمونیومی استفاده کرد.

در برخی مناطق خشک و نیمه خشک جهان، از آب شور زیرزمینی که حاوی مقدار قابل توجهی نیترات است برای آبیاری استفاده می‌شود. با استفاده از چنین آب‌هایی بسته به اینکه غلظت نیترات موجود در آنها چقدر باشد و نیز با توجه به تناوب آبیاری و نوع محصول ممکن است نیاز ازتی گیاه تأمین و یا سمّیت عارض شود. آبیاری مستمر با چنین آب‌هایی هرچند که رشد رویشی گیاه را افزایش می‌دهد ولی بلوغ گیاه را به تأخیر انداخته و پوکی دانه‌ها را به همراه دارد. برای جلوگیری از این عوارض، در چنین مناطقی باید کیفیت آب دو آبیاری آخر را که تأثیری مهم بر تشکیل دانه دارند تضمین نمود (با کیفیت خوب). در صورتی که این امر عملی نباشد به جای گیاهان دانه‌ای باید گیاهان علوفه‌ای کاشت.

۱۱-۴-۲- فسفر

دسترسی گیاه به فسفر بنا به دلایل زیر تحت تأثیر شوری خاک قرار می‌گیرد:

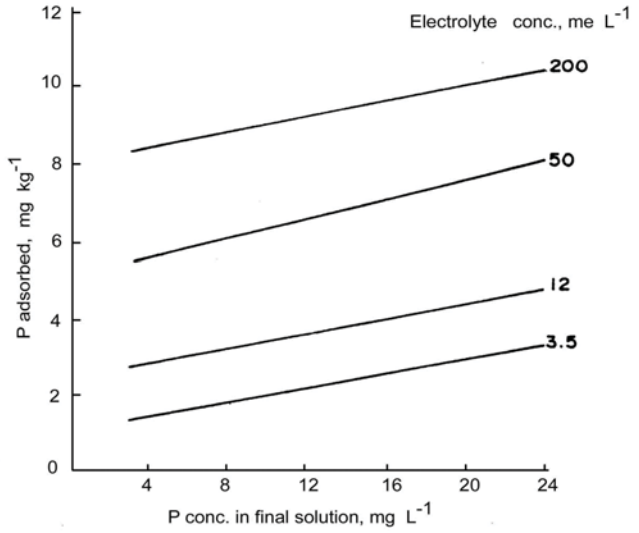
الف- رسوب فسفر در محلول خاک: مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که کاربرد KCl و NH_4NO_3 باعث می‌گردد که ۱۵ تا ۲۵ درصد فسفر محلول خاک بلافاصله رسوب کند. بنابراین، چنانچه غلظت یادشده و یا کل شوری خاک بالا باشد، مقداری از فسفر محلول رسوب می‌نماید.

ب- نگهداری محکم‌تر فسفر محلول توسط ذرات خاک: محلول خاک‌های شور قدرت یونی بالایی دارند. با افزایش قدرت یونی محلول خاک، مقدار فسفر نگهداری شده توسط ذرات خاک افزایش می‌یابد (Ryden و Syers، ۱۹۷۵). به همین جهت، خاک‌های شور که قدرت یونی بالایی دارند به مقدار بیشتری کود فسفری نسبت به خاک‌های غیرشور نیاز دارند تا حداکثر محصول در آنها به دست آید (شکل ۱۰).

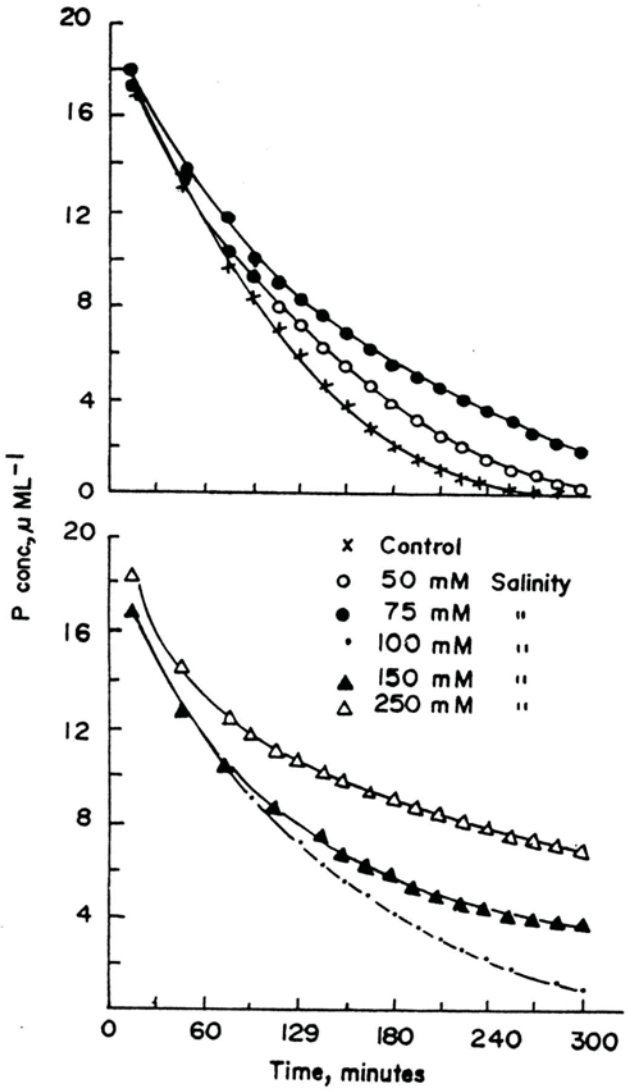
ج- رقابت یونی: هم فسفر و هم کُلر هر دو آنیون هستند و بنابراین جذب آنها توسط گیاه از مکانیسم مشابهی پیروی می‌کند. یون کُلر که در محلول خاک‌های شور به مقدار فراوان یافت می‌شود با آنیون فسفر رقابت کرده و به مقدار بیشتری جذب گیاه می‌گردد (به شکل ۱۱ دقت کنید).

د- کاهش رشد ریشه: فسفر، عنصری نسبتاً غیرمتحرک در محلول خاک‌های شور است و برای اینکه ریشه بتواند آنرا از همهٔ نیمرخ خاک جذب کند باید از طریق رویش در خلل و فرج خاک خود را گسترش دهد. با افزایش شوری، رشد ریشه‌ها محدود شده و در نتیجه کل سطح تماس ریشه‌ها با فسفر موجود در خاک کاهش یافته و بنابراین مقدارکمتری از آن جذب می‌گردد.

از آنچه که گفته شد نتیجه می‌شود که مصرف فسفر در خاک‌های شور باعث افزایش محصول می‌گردد. عموماً مشاهده گردیده که در آن دسته از خاک‌های شور که از فقر فسفر رنج می‌برند، برگ‌ها دچار نکروز گردیده و برگ‌های پایینی گیاهان رنگ قرمز (صورتی) به خود می‌گیرند. مصرف فسفر معمولاً باعث از بین رفتن این علائم می‌گردد. همانند ازت، واکنش گیاه به کودهای فسفری به شوری‌های کم و متوسط محدود می‌گردد.



شکل ۱۰- اثر غلظت محلول خاک بر جذب فسفر توسط خاک.



شکل ۱۱- اثر شوری محلول خاک بر جذب فسفر توسط برنج.

۱۱-۴-۳ - پتاسیم

معمولاً خاک‌های شور دارای مقادیری متوسط تا فراوان پتاسیم هستند اما از آنجاییکه برای حفظ شوری خاک در حدی معین مقدار بیشتری آب آبیاری مصرف

می‌شود، بخش زیادی از پتاسیم محلول طی فرآیند آبشویی از نیمرخ خاک و در نتیجه از دسترس گیاهان خارج می‌گردد. معمولاً گیاهانی که در خاک‌های شور کشت می‌شوند دچار کمبود پتاسیم هستند. افزون بر آنچه که در مورد آبشویی پتاسیم گفته شد، یک عامل مهم دیگر در جذب پتاسیم، اثرات آنتاگونیستیکی سدیم و کلسیم بر پتاسیم است. به علاوه، نسبت Na/K و Ca/K در محلول خاک‌های شور مختل شده و از این طریق نیز جذب پتاسیم کاهش می‌یابد. در چنین شرایطی، مصرف کودهای پتاسیمی منجر به افزایش عملکرد می‌گردد.

هرچند که سمّیت مستقیم ناشی از یون سدیم در خاک‌های شور کمتر از خاک‌های سدیمی متداول است، لیکن فراوانی یون سدیم در محلول خاک‌های شور منجر به کاهش مقدار پتاسیم در درون گیاه شده و نتیجتاً مقدار محصول کاهش می‌یابد. نه تنها کل مقدار پتاسیم بلکه نسبت آن با Na^+، Ca^{2+} و Mg^{2+} می‌تواند تحت تأثیر شوری قرار گرفته و به کاهش محصول بینجامد. به عنوان مثال Thomas (۱۹۸۰) مشاهده کرد که با افزایش شوری خاک، مقادیر Na^+، Ca^{2+} و Mg^{2+} موجود در گیاه پنبه افزایش ولی غلظت پتاسیم ثابت می‌ماند. علیرغم این حقیقت، به جهت برهم خوردن تعادل موجود میان نسبت‌های Ca^{2+}/Na^+ و Mg^{2+}/K^+ محصول پنبه کاهش یافت. بنابراین، مصرف کودهای پتاسیمی در خاک‌های شور افزون بر تأمین مستقیم پتاسیم مورد نیاز گیاه از راه بهبود نسبت‌های Ca^{2+}/K^+ و Mg^{2+}/K^+ نیز باعث افزایش محصول می‌گردد.

۱۱-۴-۴- عناصر کم‌نیاز

متأسفانه، اطلاعات موجود دربارهٔ نقش عناصر کم‌نیاز بر مقدار محصول در خاک‌های شور بسیار اندک است. اما به هر حال از معدود پژوهش‌های انجام شده چنین استنباط می‌گردد که با افزایش شوری خاک، مقدار عناصر کم‌نیاز در گیاه کاهش می‌یابد. در یک تحقیق مشخص شد که با افزایش شوری خاک، مقدار آهن و مس موجود در ذرت و جو کاهش ولی غلظت منگنز و روی افزایش می‌یابد (Hassan و همکاران ۱۹۷۰). در این پژوهش که آنیون غالب خاک را SO_4^{2-} تشکیل می‌داد، گمان می‌رود که آهن به صورت سولفات آهن $Fe_2(SO_4)_3$ رسوب کرده و از دسترس گیاه خارج می‌گردد. در تحقیق

دیگری که بر روی گوجه فرنگی، سویا و پرتقال صورت گرفت، مشخص گردید که غلظت منگنز و آهن در قسمت‌های رویشی گیاه با افزایش شوری خاک کاهش می‌یابد ولی به رغم این کاهش حتی در بالاترین شوری موجود، غلظت این عناصر به میزان حداقل لازم برای رشد گیاه باقی می‌ماند (Maas و همکاران ۱۹۷۲). در پژوهش مشابهی Patel و Wallace (۱۹۷۵) به این نتیجه رسیدند که با افزایش شوری خاک، غلظت Ca، Fe، Mn، Si، Mo و Zn در بافتهای گوجه فرنگی، ذرت‌شیرین و سودان‌گراس (Sudan grass) کاهش می‌یابد و آنرا به غلظت بالای کلسیم در محلول خاک مربوط دانستند. نتیجهٔ کلّی به دست آمده از این پژوهش و معدود پژوهش‌های دیگر بیانگر آن است که هرچند با افزایش شوری خاک غلظت بسیاری از عناصر کم‌نیاز در گیاه کاهش می‌یابد، ولی این کاهش آنقدر نیست که موجب بروز کمبود آنها در گیاه شود. همانگونه که گفته شد، با توجه به کم بودن تحقیقات انجام شده در این زمینه، جا دارد که پژوهش‌هایی بنیادی در نقاط مختلف کشور صورت گیرد. آنچه که گفته شد روند کلی مشاهداتی است که در نقاط مختلف جهان با شرایطی که گاه مشابه کشور ما بوده صورت گرفته و نباید به کل کشور، تعمیم داده شوند.

۱۱-۴-۵- مصرف کود و سمّیت ناشی از یون کُلر

همانگونه که قبلاً گفته شد، کُلر یکی از آنیون‌های غالب در خاک‌های شور است و حضور آن به مقدار فراوان نه تنها به طور مستقیم موجب سمّیت گیاه می‌گردد بلکه باعث بر هم خوردن تعادل (نسبت) میان عناصر غذایی موجود در محلول خاک و گیاه می‌شود. سمّیت ناشی از کُلر معمولاً به صورت سوزاندن برگ‌ها ظاهر می‌گردد. این پدیده معمولاً از نوک برگ‌های مسن‌تر شروع شده و در امتداد رگبرگ اصلی گسترش می‌یابد و در بسیاری از گیاهان خشبی نیز منجر به ریزش برگ‌ها می‌گردد (Ayers و Westcot، ۱۹۸۵).

مصرف کودهای ازتی و فسفری موجب کاهش اثر سمّی یون کُلر می‌گردد. زیرا جذب این دو آنیون توسط گیاه از مکانیسمی واحد پیروی نموده و هنگامی که غلظت فسفر در

محلول خاک فراوان باشد، گیاه تمایل بیشتری به جذب آن نشان داده و بنابراین جذب کُلر به مقدار قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد.

همانند آنچه که در مورد فسفر گفته شد، مصرف کودهای ازتی نیز سمّیت ناشی از یون کُلر را کاهش می‌دهد (Sameni و همکاران، ۱۹۸۰). در پژوهشی که توسط Thomas و Langdale (۱۹۸۰) صورت گرفت مشخص شد که اثر مخرب یون کُلر بر تعادل آنیون‌های آلی گیاه با مصرف ازت تعدیل می‌گردد. از آنچه که گفته شد نتیجه گرفته می‌شود که مصرف متناسب کودهای ازتی و فسفری از سمّیت یون کُلر در گیاهان کاسته و چنانچه این کودها با مدیریتی صحیح مصرف گردند، حتی می‌توانند اثر سمّی کُلر را کاملاً از بین ببرند.

۱۱-۵- مصرف کود و راندمان مصرف آب

رشد گیاه در خاک‌های شور شدیداً تحت تأثیر فراهم بودن آب و اثر ویژهٔ یونی است. کاهش ورود آب به ریشه‌های گیاه به خاطر بالا بودن فشار اسمزی، فعالیت‌های مریستمی و رشد طولی ریشه‌ها را به شدت کاهش می‌دهد. ادامه این روند در مراحل بعدی باعث جلوگیری از تشکیل و رشد بافتهای ثانویه در ریشه می‌شود. در نتیجه با افزایش فشار اسمزی، کل رشد رویشی گیاه دچار مشکل شده و در مقایسه با شرایط غیر شور کاهش چشمگیری می‌یابد.

مصرف بهینهٔ کود ریشه‌ها را قادر می‌سازد تا بهتر رشد کرده و گاهی کمک می‌کند تا به اعماق بیشتری در خاک نفوذ کنند و در نتیجه مقدار بیشتری آب از اعماق پایین‌تر جذب کنند. بدیهی است که نتیجهٔ این رشد و توسعه، محصولِ بیشتر است. اگر بازدهٔ مصرف آب را نسبت تبخیر و تعرق (ET) به مقدار محصول (Y) بدانیم، بدیهی است که با مصرف کود، این نسبت (ET/Y) افزایش می‌یابد. همچنین مصرف بهینهٔ کود ممکن است منجر به کوتاه‌تر شدن دوره رشد رویشی گیاه و تعجیل در بلوغ آن گردد. بدین ترتیب از دفعات آبیاری کاسته شده و بازدهٔ مصرف آب افزایش می‌یابد. پژوهش‌های انجام شده نیز نشان می‌دهند که با مصرف کودهای فسفری و پتاسیمی در خاک‌های شور، می‌توان از تأخیر باروری (بلوغ) گندم، سویا، ذرت، یولاف و انگور جلوگیری کرد. مصرف روی نیز

از تأخیر باروری در لوبیا، ذرت و برنج به صورتی چشمگیر می‌کاهد. بنابراین، با مصرف بهینهٔ کود در خاک‌های شور به نحوی که تعادل و تناسب عناصر غذایی حفظ شود می‌توان موجبات استفادهٔ بهتر از رطوبت موجود در کل نیمرخ خاک، کم کردن دفعات آبیاری و نهایتاً افزایش راندمان مصرف آب را فراهم آورد.

منابع

Adams, P. and L.C. Ho. 1989. Effects of constant and fluctuating salinity on the yield quality and calcium status of tomatoes. J. Hort. Sci. 64:725-732.

Aragues, R.A. Royo, and S.R.Grattan.1994. Foliar uptake of sodium and chloride in barley sprinkler-irrigated with saline water: Effect of pre-irrigation with fresh water. Eur. J. Agron. 3:9-16.

Ayers,A.D. 1948a. Salt tolerance of birdsfoot trefoil. J. Am. Soc. Agron.40: 331-334.

Ayers, A.D.1948b. Salt tolerance of several legumes. Rep. To Collaborators. U.S. Salinity Lab. Riverside, CA.

Benes, S.E., R. Aragues, R.B.Austin, and S.R. Grattan. 1996. Brief pre-and post-irrigation sprinkling with freshwater reduces foliar salt uptake in maize and barley sprinkler irrigated with saline water. Plant Soil 180: 87-95.

Bernstein, L. 1980. Salt tolerance of fruit crops. USDA Info. Bull. 292. U.S. Gov. Print. Office. Washington. DC.

Bower. C.A., G. Ogata, and J. M. Tucker. 1970. Growth of sudan and tall fescue grasses as influenced by irrigation water salinity and leaching fraction. Agron. J. 62:793-794.

Bressler E. and G. J. Hoffman. 1986. Irrigation management for soil salinity control: Theories and tests. Soil Sci. Soc. Am. J. 50:1552-1560.

Broadbent, F. E., and T. Nakashima. 1971. Effect of added salts on nitrogen mineralization in three California soils. Soils Sci. Soc. Amer. Proc. 35: 457-460

Dirksen, C., M. J. Huber, P. A. C. Raats, S. L. Rawlins, J. Van Schilfgaarde, J. Shalhevet and M. Th. Van Genuchten. 1994. Interaction of alfalfa with transient water and salt transport in the root zone. Research report. No. 135, US Salinity Lab., Riverside, CA., 127 pgs.

Dirksen, C., J. B. Kool, P. Koorevaar and M. Th. Van Genuchten. 1993. HYSWASOR - Simulation model of hysteretic water and solute transport in the root zone. In: D. Russo and G. Dagan (eds). Water flow and solute transport in soils. Springer Verlag. 99-122.

Eaton, F.M. 1944. Deficiency, toxicity, and accumulation of boron in plants. J. Agric. Res. 69:237-277.

Feddes, R. A., P. Kowalik, and H. Zarandy. 1978. Simulation of field water use and crop yield. Pudoc. Wageningen. pp. 189.

Feinerman, E. 1983. Crop density and irrigation with saline water. West. J. Agric Econ. 8:134-140.

Francois, L.E. 1984a. Salinity effects on germination , growth, and yield of turnips. HortScience 19:82-84.

Francois, L.E.1984b. Effect of excess boron on tomato yield, fruit size , and vegetative growth. J. Am. Soc. Hort. Sci. 109:322-324.

Francois. L. E. 1985. Salinity effects on germination. growth, and yield of two squash cultivars. HortScience 20:1102-1104.

Francois, L. E. 1991. Yield and quality responses of garlic and onion to excess boron. HortScience26:547-549.

Francois, L.E. 1992. Effect of excess boron on summer and winter squash. Plant Soil 147:163-170.

Francois, L. E. 1994a. Groeth, seed yield , and oil content of canola grown under saline conditions. Agron. J. 86:233-237.

Francois, L.E. 1994b. Yield and quality responde of salt-stressed garlic. Hort Science 29:1314-1317.

Francois, L.E. 1995. Salinity effects on bud yields and vegetative growth of artichoke (Cynara scoly – mus L.). HortScience 30:69-71.

Francois, L.E. 1996. Salinity effects on four sunflower hybrids. Agron. J. 88:215-219.

Francois, L.E., T.J. Donovan and E.V. Maas. 1992. Yield , vegetative growth, and fiber length of kenaf grown on saline soil. Agron. J. 84:592-598.

Grattan, S.R., and C,M. Grieve. 1999. Mineral nutrient acquisition and respondse by plants grown in saline environments. p. 203-226. In M. Pessarakli (ed.) Handbook of plant and crop stress. Marcel Dekker Inc., New York.

Grattan, S,R. and J.D. Rhoades. 1990. Irrigation with saline ground water and drainage water. P. 432-449. In: K.K. Tanji (ed.) Agricultural salinity assessment and management. Manuals Rep. on Eng. Practice no. 71. ASCE,New York.

Grieve, A.M. and R.R. Walker. 1983. Uptake and distribution of chloide, sodium, and potassium ions in salt – treated citrus plants. Plants. Aust. J. Agric. Res. 34:133-143.

Grieve, C.M., S.M. Lesch, L.E. Francois and E.V Maas. 1992. Analysis of main stem yield components in salt-stressed wheat. Crop Sci. 32:697-703.

Grieve C.M., and E,V. Maas, 1988. Differential effects of sodium/calcium ratio on dorghum geno – types. Crop. Sci.29:659-665.

Heeman. D.P., L.G. Lewin, and D.W. Mc Caffery. 1988. Salinity tolerance in rice varieties at different growth stages. Aust.J. Exp. Agric. 28:343-349.

Hoffman. G.J., P.B. Catlin, R.M. Mead, R.S. Johnson, L.E. Francois and D.Goldhamer.1989. Yield and foliar injury responses of mature plum trees to salinity. Irrig. Sci , 10:215-229.

Hoffman. G.J.,E.V.Maas, T.Prichard, and J.L. Meyer.1983. Salt tolerance of corn in the Sacra-mento-San Joaquin Delta of California. Irrig. Sci.4:31-44.

Hoffman, G.J. and S.L. Rawlins. 1971. Growth and water potential of root crops as influenced by salinity and relative humidity. Agron. J.63:877-880.

Homaee, M., C. Dirksen and R. A. Feddes. 2002a. Simulation of root water uptake. I. Non-uniform transient salinity stress. Agril. Water Mangt.

Homaee, M., R. A. Feddes and C. Dirksen. 2002b. Simulation of root water uptake. II. Non-uniform transient water stress. Agril. Water Mangt.

Homaee, M., R. A. Feddes and C. Dirksen. 2002c. Simulation of root water uptake. III. Non-uniform transient joint salinity and water stress. Agril. Water Mangt.

Homaee, M., R. A. Feddes and C. Dirksen. 2002d. A macroscopic water extraction model for nonuniform transient salinity and water stress. Soil Sci. Soc. Am. J.

Homaee, M. and R. A. Feddes. 2002. Modeling the sink term under variable soil water osmotic and pressure heads. 14th International conference on computational methods in water resources. Delft, The Netherlands.

Homaee, M. and R. A. Feddes. 2001. Quantification of water extraction under salinity and drought.

Homaee, M. 1999. Root water uptake under non-uniform transient salinity and water stress. PhD dissertation. Wageningen Agricultural University. 173 pp.

Homaee, M. and R. A. Feddes. 1999. Water uptake under non-uniform transient salinity and water stress. In: J. Feyen and K. Wiyo (Eds.), Modeling of transport processes in soils at various scales in time and space. pp. 416-427.

Jurinak, J.J. and D.L. Suarez. 1990. The chemistry of salt-affected soils and Water. P.42-63.InK.K.Tanji (ed.) Agricultural salinity assessment and management. Am. Soc. Civil Eng. Manuals Reports on Eng. Practice no Eng. Practide No.71. ASCE, New York.

Khatun, S.C.A. Rizzo and T.J. Flowers. 1995. Genotypic variation in the effect of salinity on fertility in rice, plant Soil 173:239-250.

Langdale, G. W. and Thomas, j. R. 1971. Soil salinity effects on absorption of nitrogen, phosphorus, and protein synthesis by coastal bermudagrass. Agron. J. 63: 708-711.

Lauchli, A. 1984. Salt exclusion: An adaptation of legumes for crops and pastures under saline conditions. P. 171-187. In R.C. Staples and G.H. Toenniessen (ed.). Salinity tolerance in plants. Strategies for crop improvement. John Wiley & Sons Inc., New York.

Lauchli, A. and E. Epstein. 1990. Plant responses to saline and sodic conditions p. 113-137.In K.K. Tanji (ed.). Agricultural salinity assessment and management. Manuals Rep. on Eng. Practice no. 71.ASCE,New York.

Lauchli, A. and S.R. Grattan. 1993. Assimilation of the potentially toxic element Mo and its partitioning in alfalfa grown under saline (Na_2So_4) environments.p.105-114.In Univ, California Salinity/Drainage progr. Annu. Rep. 1992-93.Div. Agric. Natural Resources. Univ. California.

Lunin, J., M.H.Gallatin, and A.R. Batcheler. 1963. Saline irrigation of several vegetable at various growth stages. I, Effect on yields. Agron. J.55:107-114.

Lunin, J., and Gallatin, M. H. 1965a. Salinity-fertility interaction in relation to growth and composition of beans: I. Effect of N, P, and K. Agron. J. 57: 339-342.

Maas, E.V. 1990. Crop salt tolerance. P. 262-304. In K.K. Tanji (ed.) Agricultural salinity assessment and management. Am. Soc. Civil Eng. Manuals Rep. Eng. Practice no. 71. ASCE. New York.

Maas, E.V. 1992. Tolerance and responses of tropical crops to salinity stress. P. 47-56. In T.L. Daven port and H.M.Harrington (ed.) proc. Plant Stress in the Tropical Environment, Kailua-Kona, HI. 20-25 September. Univ. Florida, Homestead.

Maas, E.V.1993. Salinity and citriculture. Tree Physiol. 12:195-216.

Maas, E.V., R.A. Clark, and L.E. Francois. 1982. Sprinkling-induced foliar injury to pepper plants: Effects of irrigation frequency, duration and water composition. Irrig. Sci.3:101-109.

Maas E.V. and C.M. Grieve. 1994. Salt tolerance of plants at different stages of growth. P. 181-197.In proc. Int. Conf. Current Development in Salinity and Drought Tolerance of plants. 7-11 Jan. 1990. Tando Jam , pakistan.

Maas, E.V. and G.J. Hoffman. 1977. Crop salt tolerance-current assessment. J. Irrig. Drainage Div.,ASCE 103:115-134.

Maas, E.V., and J.A. Poss. 1989a. Salt sensitivity of wheat at various growth stages. Irrig. Sci. 10:29-40.

Maas, E.V., J.A. Poss, 1989b. Sensitivity of cowpea to salt stress at three growth stages. Irrig. Sci, 10:313-320.

Maas, E.V.,J.A. Poss, and G.J. Hoffman. 1986. Salinity sensitivity of sorghum at three growth stages. Irrig, Sci. 7:1-11.

Meiri, A. 1948. Plant response to salinity: Experimental methodology and application to the field. P. 284-297. In I. Shainberg and J. Shalhevet(ed.) Soil salinity under irrigation. Springer Verlag. New York.

Miyamoto, S., K. Piela, and J. Petticrew. 1985. Salt effects on germination and seeding emergence of several vegetable crops and guayule. Irrig. Sci. 6: 159-70.

Ogata, G., and E.V. Maas. 1973. Interactive effects of salinity and ozone on growth and yield of garden beet. J. Environ. Qual. 2:518-520.

Oster, J.D., G.J. Hoffman and F.E. Robindon. 1984. Management alternatives: crop, water, and soil. Calif. Agric. 38:29-32.

Parker, M.B., G.J. Gascho, and T.P. Gaines. 1983. Chloride toxicity of soybeans grown on Atlantic coast flawoods soils. Agron. J.75:439-442.

Pasternak, D. and Y. DeMalach. 1994. Crop irrigation with saline water.p.599-622. In: M. Pessarakli(ed.) Handbook of plant and crop stress. Marcek Dekker Inc., New York.

Pearson, G.A., and L. Bernstein. 1959. Salinity effects at several growth stages of rice. Agron. J. 51:654-657.

Poss. J.A.,E. Pond, J.A. Menge, and W.M Jarrell, 1985. Effest of salinity on mycorrhizal onion and tomato in soil with and without additional phosphate. Plant Soil 88:307-319.

Pratt. P.F., and D.L. Suarez. 1990. Irrigation water quality assessments. P.220-236. In K.K. Tanji (ed,) Agricultural salinity assessment and managements. Manuals Rep. Eng. Practice no. 71. Am. Soc. Civil Eng., New York.

Rhoades, J.D.1999. Use of saline drainage water for irrigation.p.615-657 In R.W. Skaggs snd J. van Shilfgaarde(ed). Agricultural drainage. Agron. Monogr.38. ASA.CSSA. Madison ,WI.

Rader, L. F., White, L. M., and Whittaker, C. W. 1943. The salt index-A measure of the effect of fertilization on the concentration of the soil solution. Soil Sci. 55: 201-218.

Shannon , M.C. 1980. Differences in salt tolerance within “Empire” lettuce. J. Am. Soc. Hort. Sci. 105:944-947.

Shannon, M.C., and C.L. Noble. 1990 Genetic approaches for developing economic salt- tolerant crops. P. 161-185. In K.K. Tanji (ed.) Agricultural salinity assessment and management. Manuals Rep. Eng. Practice no.71 Am. Soc. Civil Eng., New York.

Sharpley, A,N., J.J. Meisinger, J.F. Power and D.L. Suarez. 1992. Root extraction of nutrients associated with long –term soil management. In J.L. Hatfield and B.A. Steward(eds.) Advances in soil sciende. Vol. 19. Springer-Verlag, New York.

Sprent, J. E. 1972. The effects of water stress on nitrogen fixing root nodules. III. Effects of osmotically applied stress. New Phytologist 71: 451-460.

Tanji, K.K. 1990. The nature and extent of agricultural salinity, P. 1-17. In K.K. Tanji (ed.) Agricul tural salinity assessment and management. Manuals Rep. Eng. Practice No. 71, Am. Soc. Civil Eng. New York.

U. S. Salinity Laboratory Staff. 1954, Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA Agric. Handb. 60. U.S. Gov. Print. Office. Washington, DC.

Van Genuchten , M. Th. 1983. Analyzing crop salt tolerance data: Model description and manual. USDA-ARS-USSL Res. Rep. No. 120.U.S. Gov. print. Office, Washington, DC.

Van Genuchten, M. Th. and S. K. Gupta. 1993. A reassessment of the crop response function. J. Indian Soc. Soil Sci. 41(4):730-737.

Van Genuchten, M.Th., and G.J. Hoffman. 1984. Analysis of crop salt tolerance date. P. 258-271. In I. Shainberg and J. shalhevet (ed.) Soil salinity under irrigation process and management. Ecol. Stud. 51.Springer-Verlag, New York.

Vincent, J. M. 1974. Root nodule symbiosis with Rhizobia. In A. Quispel (ed.), The Biology of Nitrogen Fixation, American Elsevier, New York, PP. 265-341.

Wadleigh, C.H., and A.D. Ayers. 1954. Growth and viochemical composition of bean plants as conditioned by soil moisture tension and salt concentration. Plant Physiol.20:106-132.

Westerman, R. L., and Tucker, T. C. 1974. Effect of salts and salts plus nitrogen-15 labeled ammonium chloride on mineralization of soil nitrogen, nitrification and immobilization. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 38: 602-605.

Plants Response to Salinity

By

Dr. M. Homaee

Iranian National Committee on
Irrigation and Drainage

Plants Response to Salinity

Iranain National Committee on
Irrigation and Drainage (IRNCID)

NO.58 - 2002

ISBN: 964-6668-37-2 شابک : ۲-۳۷-۶۶۶۸-۹۶۴

۶۳۱/۶۷
ه۶۵۷
۲ ن

کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران
تهران ـ خیابان وحید دستگردی (طفر) ـ خیابان شهید کارگزار ـ خیابان شهرساز
پلاک ۲۴ ـ طبقه دوم تلفن : ۲۲۵۷۳۲۸ نمابر : ۲۲۵۷۳۲۸