استفاده از آب های شور در کشاورزی پایدار

گروه کار سیستم های آبیاری در مزرعه
کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران

شماره انتشار : ۶۹
۱۳۸۱

استفاده از آب شور در کشاورزی پایدار

تألیف:

گروه کار "سیستم‌های آبیاری در مزرعه"

کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران

شماره انتشار: ۶۹

تابستان - ۱۳۸۱

استفاده از آب شور در کشاورزی پایدار

تألیف:

گروه کار "سیستم‌های آبیاری در مزرعه"
کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران

مؤلفان:

محمدجواد عابدی **سعید نی‌ریزی**
نادر ابراهیمی بیرنگ **مهدی ماهرانی**
ناصر مهردادی **هومن خالدی**
علی‌محمد چراغی

بسم الله الرحمن الرحيم

بسمه تعالی

استفاده از آب‌های شور در کشاورزی پایدار / تهیه توسط گروه کار «سیستم‌های آبیاری در مزرعه» کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران؛ مترجمین محمد جواد عابدی... [و دیگران] ؛ تدوین محمد جواد عابدی، نادر ابراهیمی بیرنگ. ــ تهران: کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۱۳۸۱.
۲۲٤ ص.: مصور، نقشه، جدول، نمودار.
ISBN 964-94026-6-7 ۱٤۰۰۰ ریال:
فهرستنویسی براساس اطلاعات فیپا.
ص. ع. به انگلیسی: Saline water utilization in sustainable agriculture.
کتابنامه: ص. [۲۱۳ ـ ۲۲٤].
۱. آبیاری با آبهای شور. ۲. آب کشاورزی. ۳. کشاورزی پایدار. الف. ایران. کمیته ملی آبیاری و زهکشی. گروه کار سیستم‌های آبیاری در مزرعه. ب. ایران. کمیته ملی آبیاری و زهکشی. ج. عابدی، محمد جواد. د. ابراهیمی بیرنگ. نادر.
۵ الف ۱٤ آ / S ۶۱۹ ۶۳۱ / ۵۸۷
۱۳۸۱
کتابخانه ملی ایران ۳۸۵۲۲ ـ ۸۱ م

نام کتاب: استفاده از آب‌های شور در کشاورزی پایدار
تهیه کنندگان: محمدجواد عابدی، سعید نی‌ریزی، مهدی ماهرانی، هومن خالدی، علی‌محمد چراغی
تدوین: محمدجواد عابدی، نادر ابراهیمی بیرنگ
ناشر: کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران
حروفچینی و صفحه آرایی: کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران
چاپ اول: ۱۳۸۱
تیراژ: ۱۰۰۰ نسخه
شابک: ۷ ـ ۶ ـ ۹۴۰۲۶ ـ ۹۶۴
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**

پیشگفتار
مقدمه ۱
۱. کلیات ۱۱
۱-۱- تولید غذا ۱۲
۱-۲- وضعیت جمعیت و تأمین غذا در ایران ۱۵
۱-۳- منابع آب در جهان ۱۷
۱-٤- تخصیص منابع آب کشور ۲۱
۲. مشخصات کیفی آب شور به عنوان بخشی از منابع آب آبیاری ۲٤
۲-۱- کلیات و تعاریف ۲٤
۲-۱-۱- کلیات ۲٤
۲-۱-۲- تعاریف و اصطلاحات ۲۷
۲-۲- مشخصات کیفی آب شور و طبقه‌بندی آنها ۳۷
۲-۲-۱- مشخصه‌های کیفی ۳۷
۲-۲-۱-۱- شوری ۳۹
۲-۲-۱-۲- سدیم و دشواری نفوذ آب در خاک و عملیات خاک‌ورزی ۵۳
۲-۲-۱-۳- اختلالات تغذیه‌ای ٦۹
۲-۲-۱-۴- یون‌های سمی ۷۱
۲-۲-۱-۵- عناصر کمیاب و سنگین ۷۵
۲-۲-۱-٦- مسائل متفرقه و سایر ملاحظات ۷۸
۲-۳- ارزیابی کیفیت آب آبیاری و تقسیم‌بندی‌های مختلف ۷۸
۲-۳-۱- تقسیم‌بندی کیفی آب آزمایشگاه شوری آب آمریکا (۱۹۵۴) ۷۹
۲-۳-۲- تقسیم‌بندی کیفی آب هندوستان ۸۰
۲-۳-۳- تقسیم‌بندی کیفی آب ایران (نی‌ریزی ۱۳۷۷) ۸۱

عنوان **صفحه**

۳. مخازن و منابع آب شور کشور ۸٤
۳-۱- کلیات ۸٤
۳-۲- منشاء شوری آب‌ها در ایران ۸٤
۳-۳- منابع آب شور کشور ۸۹
۳-۳-۱- رودهای شور ایران ۸۹
۳-۳-۲- دریاچه‌های شور ایران ۹۳
۳-۳-۳- آب‌های شور زیرزمینی ۹۹
٤. نمونه‌هایی از بهره‌برداری از منابع آب شور در کشاورزی ایران و جهان ۱۰۱
۴-۱- کلیات ۱۰۱
۴-۲- قاره آفریقا ۱۰۳
۴-۳- قاره آسیا ۱۱۰
۴-۴- قاره اروپا ۱۱۵
۴-۵- قاره آمریکا ۱۱۷
۴-۶- تجربیات مصرف آب شور در کشاورزی آبی ایران ۱۲۰
٥. ارزیابی اثرات آبیاری در مشخصه‌های کیفی خاک و گیاه ۱۲۷
٥-۱- کلیات ۱۲۷
۵-۲- رفتار و اثرات نمک‌های محلول در خاک و آب ۱۳۰
۵-۳- اثرات شوری در رابطه با خاک و گیاه ۱٤۱
۵-۴- اثرات شوری بر محصولات زراعی ۱٤٦
٦. جنبه‌های زیست محیطی استفاده از آب شور در کشاورزی آبی ۱٥۰
۶-۱- کلیات ۱٥۰
٦-۲- آلودگی آب ۱٥۲
۶-۳- آلودگی خاک ۱٥۳
۶-۴- بیماری‌های ناشی از آب ۱٦۱
۶-۵- اثرات مخلوط نمودن آب بر قابل استفاده بودن و آلودگی ۱٦٤

عنوان **صفحه**

٦-٦- اثرات عمده زیست محیطی پروژه‌های آبیاری و زهکشی ١٦٦
٧. مدیریت بهره‌برداری بی‌خطر از آب شور ١٦٩
٧-١- کلیات ١٦٩
٧-٢- مدیریت تولیدات کشاورزی و حفاظت خاک ١٧٢
٧-٢-١- انتخاب گیاهان مقاوم به شوری ١٧٣
٧-٢-٢- جلوگیری از تجمع نمک و مواد قلیایی مازاد در بستر بذر و خاک سطحی ١٨٢
٧-٢-٣- عناصر سمی و یون‌های ویژه ١٨٦
٧-٢-۴- تحویل آب به مزرعه به مقدار لازم و در زمان مناسب ١٨٦
٧-٢-۵- آبیاری مؤثر با حداقل میزان آبشویی و تولید زه‌آب ١٨٨
٧-٢-۶- زهکشی مناسب خاک ١٩٠
٧-٢-٧- روش‌های مناسب آبیاری با آب شور ١٩١
٧-٢-٧-١- آبیاری سطحی ١٩٢
٧-٢-٧-٢- آبیاری بارانی ١٩٤
٧-٢-٧-٣- آبیاری قطره‌ای ١٩٥
٧-٢-٨- پایش شوری خاک به منظور کفایت آبیاری و زهکشی ١٩٦
٧-٣- مدیریت کیفیت آب و حفاظت محیط زیست ١٩٧
٧-٣-١- محدود کردن افزایش نمک از طریق کاهش زهاب ١٩٨
٧-٣-٢- جمع‌آوری، جداسازی و استفاده مجدد از آب زهکشی در آبیاری ١٩٩
٧-٣-٣- اجتناب از مخلوط کردن آبهای با کیفیت مختلف برای آبیاری ٢٠١

پیشگفتار

بی‌شک یکی از بزرگترین چالش‌های پیش روی انسان قرن بیست و یکم تأمین امنیت غذایی است.

رشد فزاینده جمعیت به ویژه در میان کشورهای در حال توسعه و افزایش شکاف اقتصادی بین کشورهای شمال و جنوب و همچنین محدودیت برنامه‌های توسعه در کشورهای تولیدکننده مواد غذایی چشم‌انداز نگران‌کننده‌ای از تأمین غذا برای حداقل شرایط ادامه حیات بیش از $\frac{۱}{۳}$ افراد ساکنین این کره خاکی را به تصویر می‌کشد و شعار جهانی فقرزدایی را کم رنگ جلوه می‌دهد. از آنجایی که اغلب اراضی قابل کشت غیر آبی دنیا هم اکنون مورد استفاده قرار می‌گیرد، بنابراین بخش اعظم افزایش تولید جهانی مواد غذایی و به ویژه تولیدات زراعی باید از طریق توسعه اراضی آبی دنیا صورت گیرد. در بین راه‌کارهای توسعه شده جهت مقابله با چنین آینده ناخوشایندی، بهبود بهره‌وری آب آبیاری و مدیریت تقاضای آب و تعامل این دو رویکرد مدیریتی مدنظر اغلب صاحب‌نظران بوده و باید در دستور کار تمامی سیاست‌گذاران کشاورزی در جهان و بطور اخص در کشورهای در حال توسعه قرار گیرد.

حجم عظیم منابع آب‌های شور در جهان و نتایج بسیار چشمگیری که به صورت سنتی یا در مزارع آزمایشی از کاربرد آب شور در کشاورزی بدست آمده، استفاده از این منبع آبی را به عنوان یک رویکرد راهبردی در فرآیند تولید مواد غذایی مورد توجه قرار داده است. به صورتی که حتی کشورهای نظیر اروپای غربی که نسبتاً از میزان منابع آبی مناسبی برخوردارند، تحقیقات کاربرد آب شور در کشاورزی را در مراکز تحقیقاتی خود پی گرفته و تاکنون نیز به فناوری‌های امیدوارکننده‌ای دست یافته‌اند. نتایج تحقیقات دهه‌های اخیر در اغلب کشورها خط بطلان بر بسیاری از باورهای قبلی کشیده و راه را برای کاربرد وسیع آب شور به صورت پایدار در کشاورزی فراهم کرده است.

از طرف دیگر سالانه بخش عمده‌ای از منابع خاک دنیا تحت تأثیر شوری ثانویه، که عموماً ناشی از عمل آبیاریست، از حیز انتفاع خارج شده و به شوره‌زار تبدیل

می‌گردند. بنابراین توسعه شوری اراضی کشاورزی خود به عنوان یک تهدید در جهت بهبود امنیت غذایی در مقیاس جهانی محسوب می‌گردد، لذا در کنار نتایج و ارقام بسیار مثبت ناشی از استفاده از آب شور در کشاورزی برخی از صاحب‌نظران کاربرد منابع آب و خاک شور را گامی در جهت تسریع آلودگی زیست محیطی دانسته و با آن مقابله می‌کنند. این تضادی است که در طی زمان با انجام تحقیقات بیشتر و پایش نتایج حاصل از مزارع کاربردی باید سامان گیرد.

کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران نیز از سال ۱۹۹۷ با تشکیل گروه کار ویژه استفاده از آب شور و برگزاری کارگاه‌های متعدد در این زمینه عملاً توانسته است قدم مؤثری در راستای مستندسازی و ارائه مشخصات اولیه کاربرد آب شور در کشاورزی در کشور بردارد. کتاب حاضر نیز بخشی از این فعالیت‌ها می‌باشد. این کتاب حاصل جمع‌آوری تحقیقات و انتشارات مرتبط با مسائل شوری آب و خاک و رابطه آن با تولیدات زراعی و باغی در دو دهه اخیر در داخل و خارج کشور و تجربیات مؤلفین آن می‌باشد.

تحولات سریعی که در این دو دهه در چگونگی استفاده از آب شور در مجامع علمی و کاربردی صورت گرفته بیانگر پویایی نتایج بدست آمده بوده و انتظار می‌رود که با توسعه تحقیقات در این زمینه مبانی نشریه فعلی نیز دچار دگرگونی گردد. بدیهی است مطالعه این نشریه توسط صاحب‌نظران و کاربران آب شور در کشور و دریافت نظرات ایشان در تکمیل نکات علمی و کاربردی اشاره شده در این کتاب بسیار مؤثر بوده و اثربخشی آن را می‌تواند بهبود بخشد.

در پایان از سرکار خانم زهره آقابیک که زحمت تایپ و صفحه‌آرایی این مجموعه را برعهده داشته تشکر و قدردانی می‌گردد.

سیداسدالله اسدالهی

دبیرکل کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران

مقدمه

۱_ اهمیت کشاورزی آبی در رابطه با تولید غذا

زمین‌های حاصلخیز تحت کشت آبی در مصر و چین و برخی نقاط دیگر که از چند هزار سال قبل تا به حال کشاورزی در آن خاک‌ها با موفقیت صورت می‌گرفته است، با توجه به رها کردن میلیون‌ها هکتار اراضی زراعی در اکثر مناطق خشک که در اثر آبیاری بی‌رویه موجب زوال تمدن‌هایی در دوران قدیم گشته است و اکنون نیز از عوامل اصلی تخریب این اراضی آبی محسوب می‌شود، در مجموع راهنمای خوبی برای توجه بیشتر به مدیریت صحیح و پایدار در امر آبیاری و اداره اراضی فاریاب محسوب می‌گردد. این امر بدان علت است که کشاورزی آبی همچنان در تأمین تولیدات کشاورزی برای نسل حال و آینده از اولویت خاصی به ویژه برای تولید محصولات راهبردی به شمار می‌آید و جایگاه منحصر به فرد خود را حفظ کرده است. میزان افزایش سطح کشت آبی در دنیا از سال‌های ۱۸۰۰ که جمعیت جهانی به یک میلیارد نفر می‌رسید، حدود ۸ میلیون هکتار بوده است (۸ هکتار برای ۱۰۰۰ نفر) که تا سال ۱۹۷۹ به مقدار بیشینه خود (۲۰۹ میلیون هکتار) رسید و این در زمانی بود که جمعیت جهان به ٤/۳۸ میلیارد بالغ گشت (٤٧/٨ هکتار برای ۱۰۰۰ نفر) و از آن پس سیر نزولی را طی کرده است. به طوری که در سال ۱۹۹٤ به میزان ٤٤/۲ هکتار برای ۱۰۰۰ نفر از ساکنان جهان رسیده است (کاهش متوسط نیم درصد در هر سال (به نقل از رودز ۱۹۹۹). به عبارت دیگر جمعیت جهان که در سال ۱۸۰۰ یک میلیارد نفر بوده به ٥/٤ میلیارد نفر در سال ۱۹۹۱ و به ٦/٤ میلیارد نفر در سال ۲۰۰۱ رسید و پیش‌بینی می‌شود به ۸/٥ میلیارد نفر در سال ۲۰۲٥ افزایش یابد و این افزایش عمدتاً متوجه کشورهای در حال توسعه خواهد بود. بنابراین اگر تولید مواد غذایی در حد خودکفایی مدنظر باشد، میزان افزایش سطح زیر کشت آبی باید ۲/۲٥ درصد در هر سال افزایش یابد و حال آنکه در حال حاضر این افزایش در حدود ۱/۲ درصد است که آن نیز به طوری که در بالا اشاره شد، سیر نزولی دارد.

تغذیه این جمعیت در حال افزایش که با بهبود سطح زندگی جامعه بشری نیز توأم است، انسان کنونی را لزوماً به افزایش تولید مواد غذایی بیشتر نیازمند ساخته است.

بی‌شک امنیت جهانی غذا بدون حفظ و توسعه اراضی فاریاب، فقط از طریق گسترش کشاورزی آبی غیر ممکن خواهد بود. چون که میزان محصول‌دهی در اراضی فاریاب حداقل دو برابر زمین‌های دیم است. به طوری که در دهه آخر هزاره دوم اراضی فاریاب با مساحتی برابر حدود ۱۷ درصد از کل اراضی کشاورزی، ۳٤ درصد غذای دنیا را، تنها در سطحی حدود ۲٤۹میلیون هکتار (معادل یک ششم اراضی تحت کشت جهان) در سال ۱۹۹٤ تولید کرده است. در حال حاضر سطح کشت اراضی فاریاب جهان (۲۷۰ میلیون هکتار) ٤۰ درصد از کل غذای دنیا را تأمین می‌کند. از مزایای تولید محصول تحت شرایط آبی نه تنها افزایش عملکرد در واحد سطح است، بلکه دسترسی به برداشت محصول تثبیت شده و پایدار و نیز امکان حصول به تنوع محصولات زراعی است. در کشورهای در حال توسعه واقع در نواحی خشک، عمده محصولات غالب این مناطق نظیر برنج و گندم به اراضی فاریاب وابسته است. با توجه به محدودیت منابع آبی (از لحاظ کمی و کیفی) به نظر می‌رسد تا ربع قرن از هزاره سوم میلادی سطح اراضی آبی در این کشورها بسیار محدودتر خواهد شد. بنابراین یافتن زمین مناسب برای آبیاری مشکل‌تر گردیده و فراهم کردن آب برای آبیاری، با هزینه‌های گزاف روبرو خواهد بود. از اینرو جستجو برای منابع جدید آب نظیر بهره‌برداری از آب‌های با کیفیت پایین و سهل‌الوصول، راهکار ضروری و منطقی به نظر می‌رسد.

۲_ روند تخریب خاک و آب ناشی از آبیاری- زهکشی

در عین حال که آبیاری اراضی آبی در جهت تولید محصولات کشاورزی پیشرفت چشمگیری داشته اشت، لیکن در اثر آبیاری مفرط و بی‌رویه و تخلیه زه‌آب‌های کشاورزی، که به طور گسترده در نواحی خشک و نیمه خشک روی می‌دهد، نه تنها موجبات شور شدن خاک‌ها را فراهم کرده است، بلکه نتیجه‌ای جز آلوده‌سازی آب‌های سطحی و زیرزمینی و سرانجام عقیم ساختن اکولوژیکی بخش وسیعی از سرزمین‌های مزبور نداشته است. از این گذشته، زه‌آب‌های شور عامل انتشار آلاینده‌های ناشی از نمک‌های محلول، کودهای شیمیایی، علف‌کش‌ها و سموم گیاهی

بوده که دورنمای کیفیت و کمیت این آب‌ها را، به ویژه در ارتباط با منابع تجدیدشونده مربوطه، بسیار نگران‌کننده کرده است. از این رو موضوع کنترل زه‌آب‌ها در جهت نقصان و حذف این گروه آلاینده‌ها و نیز توجه به شرایط مناسب برنامه اجرایی در دفع و تخلیه زه‌آب‌ها[1] توجه کارشناسان را بیش از پیش به خود معطوف کرده است. زیرا در اثر نشت عمقی این زه‌آب‌های آلوده و رسیدن به سفره‌های کم عمق سطحی و سپس تخلیه و پیوستن به جریان‌های سطحی، گسترش غیر بهداشتی فاضلاب‌های شهری و موجب افزایش آلودگی گشته است. از این رو قدرت تولیدی خاک‌های کشاورزی در دهه۱۹۹۰ حدود نیم درصد در سال سیر نزولی داشته است. حال آنکه در بین سال‌های ۱۹۸٦-۱۹۵۰ سالیانه ۲/۵ درصد افزایش داشت. بنابراین، بر حسب گزارشی که مدیر انستیتوی بین‌المللی مدیریت آبیاری (IWMI) در سال ۱۹۹٦ ارائه کرده است میزان توسعه اراضی فاریاب قدری هم کمتر از مقدار خاک‌هایی است که همه ساله در اثر شور شدن غیر قابل استفاده می‌گردند. یعنی ابعاد این گسترش برابر یک تا دو میلیون هکتار از اراضی فاریاب است که همه ساله به علت شور شدن مبدل به سرزمین‌های عقیم و رها شده می‌شود و تقریباً برابر است با اراضی فاریابی است که در اثر توسعه و گسترش اراضی آبی در سطح جهان به اراضی فاریاب می‌پیوندند. بنابراین با توجه به واقعیت‌های مزبور، نهادینه کردن حفظ و توسعه اراضی فاریاب و بهره‌برداری از آنها براساس کشاورزی پایدار از اساسی‌ترین اولویت‌هایی است که لزوم نگرشی مجدد را برای دست‌اندرکاران به امر برنامه توسعه پایدار می‌طلبد. بالطبع لزوم استفاده از آب‌های با کیفیت پایین به عنوان یکی از منابع آب آبیاری اراضی فاریاب که در رفع کمبود مواد غذایی به کار گرفته شود، ضروری خواهد بود. یعنی بر خلاف تصور با عمل همزمان بهره‌برداری بی‌خطر و مطمئن از آب‌های شور و زه‌آب‌های کشاورزی به منظور آب آبیاری، هم صرفه‌جوئی در مصرف آب به عمل آمده و هم از عواقب و پیامدهای ناشی از بروز مسائل «شوری ثانویه» جلوگیری خواهد شد و در نتیجه می‌توان از تخریب و آلودگی اراضی در جهت حفاظت از محیط زیست سود جست.

1- Drainage discharge

۳- موجودیت آب در کره خاکی و سهم آب آبیاری در عرصه مصرف

در مورد اهمیت دادن و صرفه‌جویی در آب باید قبول کرد که حرمتی برای آن قائل نیستیم. درباره این مهم کافیست اشاره شود که هر کجا حیات است از آب سرچشمه می‌گیرد و آب جزء لاینفک سلول و ماده اصلی موجودات زنده در عالم هستی است. فعالیت جانوران و گیاهان خاکی و آبی که حاصل واکنش‌های بیولوژیکی است به آب وابسته است. از طرف دیگر سرچشمه جهان هستی از آب است. نظر به اینکه آب ساختمان طبیعی گیاهان و بیش از ۹۰ درصد وزن پروتوپلاسم سلول زنده را تشکیل می‌دهد، از نظر تولید غذا و الیاف اهمیت دو چندان دارد. گیاهان بر خلاف جانوران، از نظر حرکت به سوی آب کاملاً بی‌بهره‌اند ومحتاج رساندن آب به آنها می‌باشند. از طرفی دیگر با آنکه هیچ یک از ذخائر تجدیدشونده به قدر آب بر سراسر دنیا به صورت آزاد در عمق و ارتفاع و سطح گسترش نیافته است و در واقع در تمامی کره زمین از فضا به صورت کره‌ای نیلگون یا کره‌ای مملو از آب تجلی می‌کند و آبی رنگ است، ولی ۹۷/٤ درصد آن را آب‌های شور اقیانوس‌ها می‌پوشاند که در شرایط فعلی به کار محصولات کشاورزی نمی‌آید. از ۲/٦ درصد باقیمانده، ٦۹ درصد آن به صورت یخ‌های قطبی است که آن هم از گردش و چرخه هیدرولوژی بیرون است. ۳۰/۳ درصد به شکل آب‌های ذخیره‌ای زیرزمینی است که بخش زیادی از این منابع در اعماق زمین است که استخراج آنها دشوار می‌باشد و بقیه نیز به سختی جایگزین می‌گردد و بنابراین باید در مصرف آن توجه لازم مبذول داشت.

حجم آبی که قابل مصرف است، شامل آب‌های رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و هورهای آب شیرین است. این مقدار ۰/۳ درصد کل آب شیرین کره خاکی را تشکیل می‌دهد که نصیب موجودات زنده خاکی می‌گردد. هرگاه کل حجم آب شیرین جهان (اعم از یخ‌های قطبی و غیره) به صورت ظرف پنج لیتری در آید، سهم آب رودخانه‌ها و دریاچه‌های آب شیرین جهان هستی فقط به اندازه حجم دو قاشق چایخوری در می‌آید که برابر حجم کل منابع آب‌های سطحی وزیرزمینی است که در واقع همین مقدار است که به زندگی عالم موجودات زنده خاکی شکل جاویدان می‌بخشد. عدم تشخیص و قبول این واقعیت که آب زندگی بخش گیاه و حیوان است و هر کجا آب

است، آبادانی است، به مصرف ناصحیح این ماده حیاتی منجر شده است. بدین معنی که بحران کمبود آب شیرین دیگر از مرزهای محلی و منطقه‌ای گذشته و اکنون از اولویت‌های پایه‌ای بخش آب در سطح جهانی و سازمان‌های بین‌المللی مطرح است. به طوری که سازمان ملل متحد روز دوم فروردین ماه (۲۲ ماه مارس) هر سال را «روز جهانی آب» نامگذاری کرده و فائو (FAO) نیز شعار اصلی سال ۱۹۹۷ را آب پنهان «آب زیرزمینی برای زندگی» انتخاب نموده است. کمبود آب مشکل کره مسکون است. بیش از نیمی از آب جهان را قاره آسیا مصرف می‌کند و آمار بیانگر این است که این مقدار در ظرف سه چهار سال آینده به بیش از ٦٠ درصد می‌رسد. مشکل کم آبی در گذشته هم جزو مشکلات عدیده این مرز وبوم بوده است کما اینکه دعائی که داریوش در کتیبه تخت جمشید در حق ایران کرده این است که «اهورامزدا این کشور را از خشکسالی دور نگاه دارد». به همین جهت از حوادث غیر مترقبه مربوط به آب (نظیر سیلاب‌های مکرر و گاه گاهی خشکسالی) جزو بلایای طبیعی این بخش از کره خاکی است. از جمله در سه سال زراعی ۱۹۹۸ ما شاهد سیلاب‌هایی در بنگلادش، چین، هندوستان و به ویژه در کشور خودمان ایران گرفتار این بلایای خانمان‌سوز به خصوص در سال‌های ۱۳۷۹ و ۱۳۸۰ نیز بوده‌ایم.

مشکل ماندابی و نمکی شدن اراضی فاریاب از دیگر پدیده‌های جاری نواحی خشک و نیمه خشک قاره آسیا و سایر مناطق خشک جهان است. در برابر محدودیت‌های آب و خاک و دشواری‌های طبیعی و جبران کمبود مواد غذایی در برابر افزایش تنها تولیدات کشاورزی حاصل از کشت آبی است که دست برنامه‌ریزان را باز گذاشته و فقط از این راهکار قادرند گام مؤثر را بر دارند. در این راستا کلیه طراحان در زمینه منابع آب و کشاورزی در اندیشه فراهم کردن منابع جدید آبی که هم در دسترس باشد و هم در توسعه کشاورزی پایدار به کار آید می‌باشند. زیرا آمارهای سازمان‌های جهانی در سال ۱۹۹۲ نشان می‌دهد که از ٤٠٠٠٠ کیلومتر مکعب آب شیرین موجود جهان که در چرخه هیدرولوژی و تجدیدشونده در حال مبادله بوده و زندگی بشر نیز عمدتاً وابسته و محدود به این منبع است، ده درصد (حدود ٤٠٠٠ کیلومتر مکعب در سال) استحصال گردیده و نحوه توزیع آن شامل ٦٩

درصد به بخش کشاورزی، ۲۳ درصد به بخش صنعت و ۸ درصد به مصارف شهری می‌باشد. لیکن باید توجه داشت که از دو دهه گذشته تا به حال (یعنی با شروع هزاره سوم میلادی) حجم آب مصرفی در صنایع حدود دو برابر افزایش یافته و به تبع چون توسعه صنعت و تکنولوژی وابسته به آن و افزایش جمعیت که در جهت آنها رو به افزایش است، مستلزم مصرف آب بیشتر است به آلودگی منابع آب‌ها بیش از پیش خواهد افزود و این از معمولی‌ترین پس خوردهای طبیعی است که انسان زمان حاضر ضربه‌ای در هدر رفت آب وارد می‌سازد. بنابراین بکارگیری و استفاده از آب‌های با کیفیت پایین[1] و جلوگیری بیشتر از آلودگی آب‌ها امری الزامی است. در این خصوص قاسمی و همکاران[2] در سال ۱۹۹۵ چنین گزارش کرده‌اند:

«درحال حاضر بخش‌های وسیعی از خاورمیانه و شمال آفریقا، قسمت‌هایی از آمریکای مرکزی و نواحی غرب ایالت آمریکا دچار کم آبی هستند. یعنی ۲٦ کشور با جمعیت ۳۰۰ میلیون نفر با مشکل بی‌آبی روبرو می‌باشند و پیش‌بینی می‌شود که در شروع هزاره سوم میلادی حدود ۳۸ کشور از جهان از کمبود آب و بی‌آبی رنج می‌برند و مسائل و مشکلات زیادی در جهت مصارف آب در بخش‌های کشاورزی، صنعت و شرب خواهند داشت و تا سال ۲۰۵۰ تعداد این کشورها به ٦٦ خواهد رسید».

کشور ما ایران نیز در زمره این گروه خواهد بود که از تنش آبی رنج خواهد برد.

جدول (۱) نمایانگر میزان آب مصرفی از سال‌های ۱۹۰۰ تا ۱۹۹۰ و نیز پیش‌بینی آن تا سال ۲۰۰۰ است. از جدول چنین بر می‌آید که میزان آب مصرفی در طول قرن بیستم حدود ده برابر شده است که بر حسب درصد به حدود ۹۰۰ می‌رسد. آمار موجود نشان می‌دهد که تا آخر هزاره دوم میلادی بیش از نصف حجم ۹۰۰۰ کیلومتر مکعب آب موجود، که آب بالقوه قابل استحصال نیز در آن منظور شده است به مصرف خواهد رسید. در سال ۱۹۰۰ حدود ۹۰/۵ درصد از کل آب مصرفی به بخش کشاورزی می‌رسید و حال آنکه تا آخر سال ۲۰۰۰ میلادی به حدود ٦۲/٦ کاهش یافته است و خواه و ناخواه با ورود به هزاره سوم میلادی و روندی که

1-Marginal Water
2- Ghassemi et al., 1995

توسعه تکنولوژی و جمعیت در پیش دارد، سهم آب در کشاورزی از این هم کمتر خواهد شد. در این باره کافی است اشاره شود که بنا بر گزارش سازمان‌های جهانی تنها در سال ۱۹۹۲، سیزده کشور جهان از جمله ایالت‌های متحده آمریکا بر سر آب‌های رودخانه‌های مرزی با هم اختلاف شدید داشته‌اند در حالی که این روند رو به افزایش است.

کشور ما نیز با توجه به میزان آب ورودی و خروجی وارد این وادی شده و لذا باید به این امر توجه خاصی صورت گیرد. به همین جهت اعتقاد کلی بر این است که در آینده جنگ بر سر آب است نه سوخت‌های فسیلی.

جدول ۱- میزان آب مصرفی در سال‌های ۲۰۰۰-۱۹۰۰ (برحسب کیلومتر مکعب)

مصرف	سال								افزایش مصرف آب در سال ۲۰۰۰ نسبت به سال ۱۹۰۰ به درصد
	۱۹۰۰	۱۹٤۰	۱۹۵۰	۱۹٦۰	۱۹۷۰	۱۹۸۰	۱۹۹۰	۲۰۰۰*	
کشاورزی	۵۲۵	۸۹۳	۱۱۳۰	۱۵۵۰	۱۸۵۰	۲۲۹۰	۲٦۸۰	۳۲۵۰	٦۱۹
صنعت	۳۷	۱۲٤	۱۷۸	۳۳۰	۵٤۰	۷۱۰	۹۷۳	۱۲۸۰	۳٤۵۹
خانگی	۱٦	۳٦	۵۲	۸۲	۱۳۰	۲۰۰	۳۰۰	٤٤۱	۲۷۵٦
مخازن	۰/۳	٤	۷	۲۳	٦٦	۱۲۰	۱۷۰	۲۲۰	۷۳۳۳۳
کل	۵۷۸	۱۰۵۷	۱۳٦۷	۱۹۸۵	۲۵۸٦	۳۳۲۰	٤۱۲۳	۵۱۹۱	۸۹۹

*- تخمین است.

مأخذ: قاسمی و همکاران، ۱۹۹۵

تنها بر همین اساس بار دیگر لزوم بهره‌برداری از سایر منابع آبی که تا کنون در بخش کشاورزی مورد استفاده قرار نگرفته است تأکید می‌گردد. غیر از مقدار کمی آب، موضوع کیفیت آب نیز با گذشت زمان به طور روزافزون مسئله‌ساز بوده است. توجه به این مهم از اوئل دهه ۱۹٦۰ فقط درباره آلودگی آب‌های سطحی شروع گردید

و متأسفانه تا چند سال اخیر نسبت به آلودگی منابع آب‌های زیرزمینی که آن نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است توجهی نشده بود. ولی اکنون از مسائل مهم است که مورد توجه برنامه‌ریزان در توسعه منابع آب قرار گرفته است. در راستای جلوگیری از زوال این منابع و نیز توجه به منابع آلاینده (اعم از ثابت[1] و غیر ثابت)، که منابع آب سطحی و زیرزمینی را آلوده می‌سازند، اکنون برنامه‌هایی در سطح ملی و منطقه‌ای در کشورهای بسیاری که به این مسائل مبتلا هستند، در دست اجرا است.

۴- مصرف آب شور و زه‌آب‌های برگشتی کشاورزی در آبیاری

آب‌های شور و لب شور در ردیف آب‌های سطحی، و زیر سطحی کم عمق و آب‌های زهکشی شور و نظائر آن، که در گذشته در کشاورزی آبی به هدر می‌رفت و از رده آب‌های آبیاری خارج بود و در مقایسه با استانداردهای رایج آب آبیاری قبلاً نامناسب تشخیص داده شده بود، اکنون مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به مطالب مورد بحث در این نوشتار و سایر منابع مربوطه و به ویژه بازنگری‌هایی که در دو دهه اخیر نسبت به استفاده از این گروه آب‌ها در آبیاری در مناطق خشک صورت گرفته است، به تجربه ثابت شده است که نه تنها نباید این آب‌ها را رها کرد و موجبات اثرات سوء عوامل زیست محیطی ناشی از آن را فراهم نمود، بلکه باید برای این دسته از آب‌ها برای آبیاری توجهی مبذول داشت و با توجه به مدیریت ویژه کاربرد آن آب‌ها، به نحو شایسته‌ای از آنها بهره‌برداری کرد. با توضیحات زیر اهمیت این گروه از آب‌های غیر متعارف روشن‌تر می‌گردد.

بررسی سیستم بهره‌برداری از آب به منظور آبیاری اراضی فاریاب در کشور ایران وسایر کشورهای همجوار واقع در مناطق خشک خاورمیانه نشان می‌دهد که از سال‌ها قبل منابع آب شور مورد استفاده قرار می‌گرفته است. به نظر کووودا[2] از چند هزار سال پیش، کشاورزان این نواحی به ویژه ملت‌های واقع در نواحی وسیعی از

1- Point Pollution
2- Kovda, 1973

خاورمیانه و شمال آفریقا برای دستیابی به عملکرد محصول قابل قبول، آب شور چشمه‌ها و چاه‌های فورانی (آرتزین) را به اراضی فاریاب هدایت می‌کرده‌اند. این کار بعضاً هنوز هم در حال بهره‌برداری است. بدیهی است که خاک‌های کشاورزی این مناطق دارای خصوصیات زهکشی طبیعی و نفوذپذیری مناسب بوده و با بافت سبکی که دارند و در ارتفاعات واقع شده‌اند، توانایی عبور زه‌آب‌های شور را به لایه‌های زیرین نزدیک به دریا یا نواحی پست واقع در کویرهای مجاور یا نواحی ساحلی را دارا می‌باشند. از این راه املاح محلول در زه‌آب‌های اولیه و یا ثانویه به طریق طبیعی از نیمرخ خاک آزاد و به نواحی باطلاقی، دریاچه و یا دریا راه می‌یابد. به نظر این کارشناس (کوودا)، شوری این آب‌ها بین ۳ تا ۸ گرم در لیتر است. با توجه به موارد مذکور و سایر عملکردهای بهره‌برداری از آب‌های غیر متعارف شور، اکنون ثابت شده است که در صورت مساعد بودن شرایط زهکشی مناسب اراضی و هدایت آگاهانه این آب‌ها در آبیاری، به سهولت می‌توان از آب‌های با شوری تا حدود ۸ گرم در لیتر در بهره‌برداری اقتصادی در کشاورزی پایدار استفاده کرد. کما اینکه در حال حاضر در مناطق خشک واقع در استرالیا، شبه قاره هند، آسیای مرکزی، کشورهای واقع در خاور نزدیک و شمال آفریقا، شوروی سابق و ایالات متحده آمریکا از آب و زه‌آب‌های شور به مقدار زیاد در آبیاری بهره‌برداری می‌کنند.

گرچه بررسی‌های دقیقی درباره استفاده از آب‌های شور در ایران صورت نگرفته است، لیکن آثار و علائم خاک‌های تحت کشت آبی مجاور رودخانه‌های شور و چاه‌های فورانی مربوطه و نیز بعضی از قنوات با آب‌های نسبتاً شور از قدیم‌الایام وجود دارد. این آثار در مجموع بیانگر این است که کشاورزان ماهر این نواحی که شایستگی خود را با ابداع قنوات به جهانیان به اثبات رسانده‌اند، در این زمینه نیز از سالیان دراز گذشته در امر بهره‌برداری از آب شور برای آبیاری نیز از سایر همسایگان خود نه تنها عقب نبوده بلکه چه بسا سرمشق دیگران نیز بوده‌اند. از این قبیل اراضی موجود آبخور اطراف تلخه‌رود در دشت آجی چای تبریز و نیز اکثر

نواحی مجاور رودخانه‌های شور در جنوب و جنوب شرقی کشورمان را که در حال بهره‌برداری هستند، می‌توان مشاهده کرد.

اکنون با توجه به نیاز آب بیشتر در جهت توسعه سطح کشت و نیز برای مصرف بیشتر آب برای آبیاری در کشاورزی متمرکز، منابع آبی که در گذشته به علت پایین بودن کیفیت آب آنها جزو برنامه بهره‌برداری نبوده است، تحت شرایط ویژه به عنوان منابع مهم آبی، مطرح بوده و می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. این گروه منابع آب اکنون به علت آنکه مورد استفاده قرار گرفتن آنها مستلزم احداث تأسیسات آبی با هزینه‌های گزاف نمی‌باشد و بر عکس ارزان و نیز قابل دسترس است، از اولویت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. به ویژه آنکه بر حجم این گروه آب‌ها هر روز بیش از پیش در اکثر نواحی با کشاورزی آبی افزوده می‌گردد. البته در حد نهایی این گروه از آب‌ها یعنی آب‌های خیلی شور، آب دریاها و اقیانوس‌ها به شمار می‌آیند که در آخر فهرست آب‌های شور طبیعی قرار دارند. وجود اقیانوس‌ها از نظر بیولوژی موجودات زنده از عوامل اصلی بقاء حیات به شمار می‌آیند و تلاش در حفظ سلامت و پاک نگهداشتن آنها از اهداف ملی در سطح جهانی است. لازم به یادآوری است که کشاورزی با این آب‌ها نیز در پاره‌ای از کشورهای اطراف خلیج فارس دیر زمانی است که معمول شده است.

بنابراین زمان آن فرا رسیده که دانشمندان و کارشناسان در راستای توسعه سیستم‌های بیولوژیک که بتواند در محیط‌های شور نتایج رضایتبخش دهد، اقداماتی فراگیر و مؤثرتر که بیش از پیش قادر باشند کشاورزی آبی پایدار را بیمه کنند، انجام دهند. بدیهی است موضوعات مورد توجه این نوشتار بیشتر درباره ارائه راهکارهای معمول و متعارفی است که بتوان از سودمندی و بهره‌برداری از آب‌های با کیفیت پایین برخوردار گردید. نقش و اهمیتی که آب‌های شور و لب شور در آینده کشاورزی ایران به عنوان منابع آبی مناسب و ارزان خواهد داشت باید مورد آزمایش و توجه قرار گیرد تا بتوان در جهت توسعه سطح زیر کشت از این ذخایر با اعمال مدیریت ویژه استفاده بهینه به عمل آورد.

۱- کلیات

رشد جمیت و نیاز جهانی به توسعه ضرورت استفاده از منابع مختلف را در راستای تأمین نیازهای اولیه بشر تشدید نموده است. اگرچه بهبود شرایط زیست محیطی شامل حفظ محیط زیست و توسعه بهداشت عمومی پیوسته اهمیت می‌یابد، ولی تأمین آب و غذا اساسی‌ترین نیاز انسان در جهان است.

در نتیجه افزایش روز افزون جمعیت، تخریب جنگل‌ها و مراتع، گسترش اراضی شور و ماندابی ناشی از آبیاری بیش از حد، آلودگی منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی حاصل از مصرف کودهای شیمیایی و دفع آفات گیاهی، محدودیت متعارف منابع آب و خاک را بیشتر نموده است. بدیهی است جوامع به صورت منطقه‌ای در نهایت به صورت جهانی سعی بر آن دارند که به حیات خود ادامه دهند. ولی تداوم حیات بشری در صورتی میسر خواهد بود که رشد جمعیت و به طبع آن رشد نیازها در تعادل کمی و کیفی با منابع طبیعی قرار بگیرد. این سؤال امروزه در برابر ما قرار دارد که آیا بشر در آینده می‌تواند این تعادل را حفظ نموده و باعث پایداری توسعه در مقیاس جهانی گردد.

چگونگی بهره‌برداری از منابع آب و خاک در وضعیت فعلی جهان و ادامه آن دورنمای نگران‌کننده‌ای را برای قرن آینده مطرح می‌نماید. کمبود منابع آب با کیفیت مناسب و توسعه شوری امری اجتناب‌ناپذیر است. بنابراین وقت آن رسیده که اندیشمندان و محققین در راستای توسعه سیستم‌های تولید بیولوژیک که بتواند به شوری مقاوم باشد اقداماتی فراگیر و مؤثر به عمل آورند و به ویژه آنکه منابع آب شور در سطح جهان بسیار گسترده‌تر از منابع آب‌های شیرین تجدیدپذیر می‌باشد.

به دلیل پیشرفت‌های چشم‌گیر که در زمینه بهداشت، درمان و سطح زندگی حاصل شده است، آهنگ افزایش جمیت انسانی در کشورهای رو به توسعه در دوره اخیر، با مقایسه چند دهه گذشته افزایش داشته است. بر حسب آمار بانک جهانی در بین سال‌های ۷۰-۱۹٦٥ بیشینه نرخ رشد جمعیت جهان بالغ بر ۲ درصد بوده است که خوشبختانه بعد از این تاریخ روند نرخ رشد سیر نزولی داشته یعنی به ۱/۸ درصد درسال ۱۹۹۰ رسیده است. اگر میزان کاهش نرخ جمعیت بر همین منوال پیش رود،

براساس برآورد سازمان مزبور تا سال ۲۰۳۰ به حدود یک درصد خواهد رسید و پیش‌بینی می‌شود که نرخ رشد جمعیت جهان تا سال۲۱۰۰ به صفر نزدیک و در آن زمان جمعیت کره خاکی به میزان ۱۱ میلیارد یعنی حدود دو برابر سال ۱۹۹۰، افزایش خواهد یافت. سیر تغییرات جمعیت از نظر میزان نفوس و پراکندگی در جهت فشار به کشورهای در حال توسعه بوده است. جمعیت جهان در سال ۱۹۵۰ میلادی برابر دو میلیارد و پانصد شصت و پنج میلیون نفر بوده است که با متوسط رشد ۱/۷۵ درصد در سال، به پنج میلیارد و پانصد و نود و دو میلیون نفر در سال ۱۹۹۰ بالغ شده است. از طرفی، پیش‌بینی می‌شود که تا سال جاری جهان حدود ٦۰۰ تا ٦۵۰ میلیون نفر جمعیت گرسنه داشته باشد، در حالی که این رقم در سال ۱۹۷۰ حدود ٤۵۰ میلیون نفر بوده است. توزیع این جمعیت بیشتر در کشورهای آسیایی در حال رشد به میزان ٦۰ درصد، در کشورهای آفریقایی حدود ۲۵ درصد و در کشورهای آمریکای لاتین و جزایر کارائیب حدود ۱۰ درصد خواهد بود. در حال حاضر ۱۱۱٦ میلیون نفر از جمعیت کشورهای در حال رشد از نظر معیشتی فقیر هستند که از این تعداد، حدود٦۳۰ میلیون نفر در زیر خط فقر زندگی می‌کنند (سازمان برنامه و بودجه، ۱۳٦۸).

هم زمان با افزایش رشد جمعیت، تقاضا برای غذا، سایر کالاها و خدمات نیز افزایش می‌یابد و بالطبع جمعیت اضافی ساکن در کشورهای در حال توسعه به علت اثرات آلودگی و تخریب بیشتر منابع طبیعی نه تنها از کمبود مواد غذایی رنج می‌برند بلکه از بهداشت و تعلیم و تربیت بالقوه و بالفعل در خور آنان نیز محروم خواهند شد (جدول ۱-۱).

۱ – ۱ - تولید غذا

تولید غلات درنقاط مختلف جهان همواره به عنوان معیاری برای شناخت سطح تولید و امنیت غذایی به شمار رفته است. قبل از ورود به مبحث تولید غلات و مصرف جهانی آن لازم است به پاره‌ای از برآوردهای سازمان خواروبار و بانک جهانی

اشاره گردد. براساس برآوردهای انجام شده توسط فائو در اواخر دهه ۱۹۸۰ میلادی حدود یک هشتم از جمعیت جهان دچار سوء تغذیه مزمن بوده‌اند.

بانک جهانی نیز برآورد کرده است که حدود ٤٠٠ میلیون نفر از جمعیت جهان با کمبود غذا روبرو هستند و۳۵۰ میلیون نفر نیز قادر نیستند حتی حداقل جیره غذایی لازم برای سلامتی خود را به دست آورند.

دردهه ۹۵-۱۹۸۵ تولید جهانی غله نه تنها رشد نداشته بلکه در طی این ده سال به طور میانگین سالانه حدود ۱ درصد نیز افت نموده است. البته در سال ۹۷-۱۹۹٦ تولید جهانی غله نسبت به سال قبل خود رشد چشمگیری داشته و توانسته است بخشی از کاهش‌های سال‌های قبل را جبران نماید ولی با این وجود هنوز با میزان تولید در نیمه اول دهه ۸۰ فاصله دارد (فتحی، ۱۳۷۵).

جدول ۱-۱- روند رشد جمعیت در گذشته و آینده‌نگری تا سال ۲۰۵۰ به میلیون نفر

		۱۹۵۰	۱۹۸۰	۱۹۸۷	۱۹۹۵	۲۰۰۰	۲۰۲۵	۲۰۵۰
آسیا	توسعه یافته	۸٤	۱۱۷	۱۲۲	۱۲۵	۱۲۹	۱۲۷	۱۱۵
	درحال توسعه	۱۳۳٦	۲٤۷٦	۲۸۲۷	۳۲۲۹	۳۵۲۵	٤۸۱۱	۵۸٤۱
	جمع	۱٤۱۰	۲۵۹۳	۲۹٤۹	۳۳۵٤	۳٦۵٤	٤۹۳۸	۵۹۵٦
آفریقا		۲۳۹	٤۹٤	٦۰۵	٦۹۲	۸۸۷	۱۷۱۲	۲٦٦۲
آمریکای مرکزی و جنوبی		۱٦٦	۳٦۵	٤۲۷	٤۷۲	۵۵۱	۷۸۹	۹٦۷
آمریکای شمالی		۱٦٦	۲۵۲	۲۷۰	۲۹۳	۲۹٦	۳۲۸	۳۲۸
اروپا		۳۹۲	٤۸٤	٤۹۵	٤۹۹	۵۱۰	۵۰٦	٤٦۳
شوروی سابق		۱۸۰	۲٦٦	۲۸٤	۲۸۷	۳۱۲	۳٦٤	۳۸٦
اقیانوسیه	توسعه یافته	۱۰	۱۸	۱۹	۲۲	۲۲	۲٦	۲۸
	درحال توسعه	۲	۵	٦	٦	۸	۱۲	۱۵
	جمع	۱۲	۲۳	۲۵	۲۸	۳۰	۳۸	٤۳
جهان	توسعه یافته	۸۳۲	۱۱۳۷	۱۱۹۰	۱۲۱٦	۱۲٦۹	۱۳۵۱	۱۳۲۰
	درحال توسعه	۱۷۳۳	۳۳۳۹	۳۸٦٤	٤۳۷٦	٤۹۷۲	۷۳۲٤	۹٤۸۵
	جمع	۲۵٦۵	٤٤۷٦	۵۰۵۵	۵۵۹۲	٦۲٤۱	۸٦۷۵	۱۰۸۰۵

مأخذ: سازمان برنامه و بودجه، ۱۳٦۸

جدول (۱-۲) تولید جهانی غله را در طی پنج سال از سال ۱۹۹۲ تا سال ۱۹۹۷ نشان می‌دهد. براساس داده‌های این جدول بالاترین میزان تولید غله با ۱۷۱۷ میلیون تن مربوط به سال زراعی ۹٦- ۱۹۹۵ بوده است. کاهش تولید از یک طرف و رشد جمعیت از طرف دیگر سبب گردیده که سرانه تولید با سرعت زیادی از سرانه نیاز فاصله گرفته و امنیت جهانی غذا را به مخاطره اندازد. همراه با افت سرانه تولید غذا ماهیت قحطی نیز دستخوش تغییر گردیده است. در جهانی که گرسنگی ابعاد گسترده‌ای به خود گرفته، مردم گرسنه در هجمه‌ای بی‌سابقه مرزهای موضعی و حتی ملی خود را در جستجوی غذا رها کرده و به مهاجرت و کوچ به کشورهای غنی اقدام می‌کنند. تقریباً ۵۰ کشور جهان سوم که در آسیا، آفریقا و آمریکای جنوبی در دهه ۱۹٤۰ از نظر غذا خودکفا بوده‌اند، امروز متکی به واردات غلات از کشورهای دیگر شده‌اند (فتحی، ۱۹۹٦).

جدول ۱-۲- تولید جهانی غله به تفکیک نوع (میلیون تن)

شرح	۹۲-۹۳	۹۳-۹٤	۹٤-۹۵	۹۵-۹٦	۹٦-۹۷	تغییرات درسال ۹٦-۹۷ نسبت به۹۵-۹٦
گندم	۵٦٦	۵٦٤	۵۲۷	۵٤۷	۵۷۱	+٤/٤
غلات دانه درشت	۸۷۸	۸۱۰	۸۹۰	۷۹۹	۸۸۳	+۱۰/۵
برنج کوبیده	۳۵۵	۳۵٦	۳٦۱	۳۷۱	۳۷٤	+۰/۸
(شالی)	۵۲۹	۵۳۱	۵۳۸	۵۵۲	۵۷۵	+۰/۹
کلیه غلات (شامل برنج کوبیده)	۱۷۹۹	۱۷۳۰	۱۷۷۸	۱۷۱۷	۱۸۲۸	+٦/۵
کشورهای درحال توسعه	۹۱٤	۹۳٤	۹۲۷	۹۵٦	۹۷۸	+۲/۳
کشورهای توسعه یافته	۸۸۵	۷۹۷	۸۵۱	۷٦۱	۸۵۰	+۱۱/۷

مأخذ: فتحی، ۱۳۷۵

۱- ۲- وضعیت جمعیت و تأمین غذا در ایران

جمعیت کشور در چند دهه اخیر از رشد نسبتاً بالایی برخوردار بوده به طوری که در طی ۳۰ سال گذشته از سال ۱۳٤٥ تا سال ۱۳۷٥ جمعیت ۲٥ میلیونی ایران به حدود ۲/٥ برابر افزایش پیدا کرده است. جدول (۱-۳) رشد جمعیت کشور را در این مقطع نشان می‌دهد. خوشبختانه با توجه به برنامه‌های کنترل جمعیت و سایر مسائل اقتصادی- اجتماعی آمار سرشماری سال ۱۳۷٥ سیر نزولی میزان رشد را نشان می‌دهد. در این آمار متوسط رشد سالانه برای سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۷٥ معادل ۱/٤۷ درصد اعلام گردیده که در چهل سال اخیر پایین‌ترین میزان نرخ رشد بوده است. در مقابل، نتیجه سرشماری دهه ۱۳٥٥ تا ۱۳٦٦ بالاترین نرخ رشد جمعیت کشور به میزان ۳/۹۱ درصد را نشان داده است (سازمان برنامه و بودجه، ۱۳۷٥). سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور (برنامه و بودجه) در سال ۱۳۷٦ در یک گزارش منتشر نشده جمعیت کشور در سال۱٤۰۰ را با توجه به نرخ رشد جمعیت به شرح جدول (۱-٤) پیش‌بینی نموده است. در این گزارش جمعیت سال ۱٤۰۰ کشور با فرض نرخ رشد ثابت ۱/۷ درصد حدود ۹۲ میلیون نفر برآورد شده است. همچنین براساس نرخ باروری ارائه شده در آخرین سرشماری کشور و محاسبه امید به زندگی و تحولات آن در آینده، شرکت مهندسی مشاور طوس آب با توجه به اثرات آتی میزان باروری بالای دهۀ ۱۳٥٥ تا ۱۳٦٥ تحلیلی بر چگونگی رشد جمعیت آینده کشور تا رسیدن به حد تعادل ارائه نموده است. در جدول (۱-٥) تحولات جمعیت در گذشته و برآورد آن براساس تحلیل مذکور تا سال ۱٤٥۰ تنظیم شده است. براساس این اطلاعات، با فرض میزان باروری متوسط ۲ فرزند برای هر زن در سال ۱٤٥۰ جمعیت کشور در حدود ۱۱٦ میلیون نفر به تعادل رسیده و از آن پس نه تنها افزایشی نداشته بلکه با نرخ بسیار اندکی کاهش نیز پیدا کرده است (شرکت مهندسی مشاور طوس‌آب، ۱۳۷۷). البته تحلیل‌هایی که جدیداً در سطح جهانی در مورد آینده جمعیت کره زمین ارائه شده نیز با فرض باروری متوسط ۲ فرزند برای هر خانواده از چنین تحولی در سطح جهان خبر می‌دهد. بدین صورت که جمعیت کره خاکی نیز احتمالاً در سال ۲۰٥۰ به

حدود ۱۰ تا ۱۱ میلیارد نفر خواهد رسید و سپس سیر نزولی خود را آغاز خواهد کرد (روزنامه همشهری، ۱۳۷۷).

جدول ۱-۳- جمعیت ایران براساس سرشماری عمومی از سال ۱۳٤٥ تا ۱۳۷٥

سال	۱۳٤٥	۱۳٥٥	۱۳٦٥	۱۳۷٥
جمعیت به (میلیون نفر)	۲٥	۳۳/٥	٤۹/٤	٦۰

ماخذ: سازمان برنامه و بودجه، ۱۳۷٥

جدول ۱-٤- پیش‌بینی جمعیت ایران تا سال ۱٤۰۰

سال		۱۳۷٥	۱۳۸۰	۱۳۹۰	۱٤۰۰
جمعیت به میلیون نفر	۱/۲×	٦۰/۰	٦۳/۷	۷۱/۷	۸۰/۱
	۱/۷	٦۰/۰	٦٥/۲	۷۷/۲	۹۱/٤

× - با فرض رشد ثابت ۱/۲ و ۱/۷ درصد

ماخذ: سازمان برنامه و بودجه، ۱۳۷٥

به هر حال، علی رغم کاهش نرخ رشد جمعیت نیاز به مواد غذایی، پیوسته افزایش پیدا کرده و در نتیجه منابع بیشتری از کشور چه در بخش منابع پایه و چه در بخش منابع مالی و انسانی باید در خدمت تأمین غذا قرار گیرد. میزان تولید غله در ایران از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۷٦ به تفکیک در جدول (۱-٦) ارائه شده است. به طور کلی تولید غلات در ایران متناسب با تغییرات اقلیمی و میزان بارندگی در این شش سال تغییر پیدا کرده وغیر از ذرت که تولید آن ۲/٥ برابر شده، تولید سایر غلات در این سال‌ها فاقد رشد بوده است. در مجموع، تولید غلات درسال زراعی ۷٤-۱۳۷۳ معادل ۱۷/۱ میلیون تن بوده است. درضمن در همین سال حدود ٦/٥ میلیون تن غلات به کشور وارد شده است. به طور کلی سرانه مصرف غلات در ایران در حال حاضر حدود ۲۲۰ کیلوگرم گندم و ۱۰۰ کیلوگرم سایر غلات در سال می‌باشد. با این حساب کمبود غله کشور نسبت به تولید داخلی متناسب با رشد جمعیت افزایش پیدا کرده و اگر سقف جمعیت کشور را حدود ۲ برابر جمعیت فعلی کشور در نظر بگیریم و اگر تلاش جدیدی برای بهبود وضعیت بهره‌گیری از منابع آب و خاک کشور صورت

نگیرد در طی ۵۰ سال آینده حدود ۱۸ الی ۲۰ میلیون تن غله باید از خارج وارد گردد (وزارت کشاورزی، ۱۳۷۷).

جدول ۱-۵- پیش‌بینی روند رشد جمعیت بر پایه سه فرض باروری مختلف (میلیون نفر)

سال	باروری در سطح پایین ×		باروری در سطح متوسط ××		باروری در سطح بالا ×××	
	جمعیت	میزان رشد ٪	جمعیت	میزان رشد ٪	جمعیت	میزان رشد ٪
۱۳۷۵	٦۰/۱	۱/٤۸	٦۰/۱	۱/٥٤	٦۰/۱	۱/٦۷
۱٤۰۰	۸٦/۷	۰/۷	۸۸/۰	۰/۸۹	۹۰/۸	۱/۲۳
۱٤۲٥	۱۰۳/۲	۰/۰٥	۱۱۰/۰	۰/۲۱	۱۲۳/۲	۰/۷۸
۱٤٥۰	۱۰٤/٦		۱۱٦/۰		۱٤۹/۷	

× برای هر خانواده ۱/٦ فرزند، ×× برای هر خانواده ۲ فرزند، ××× برای هر خانواده ۲/٦ فرزند

مأخذ: شرکت مهندسی مشاور طوس‌آب، ۱۳۷۷

جدول ۱-٦- میزان تولید غله در ایران (میلیون تن)

سال زراعی / غلات	۱۳۷۰-۱۳۷۱ ۱۹۹۱-۱۹۹۲	۱۳۷۱-۱۳۷۲ ۱۹۹۲-۱۹۹۳	۱۳۷۲-۱۳۷۳ ۱۹۹۳-۱۹۹٤	۱۳۷۳-۱۳۷٤ ۱۹۹٤-۱۹۹٥	۱۳۷٤-۱۳۷٥ ۱۹۹٥-۱۹۹٦	۱۳۷٥-۱۳۷٦ ۱۹۹٦-۱۹۹۷
گندم	۱۰/۱	۱۰/۷	۱۰/۸	۱۱/۲	۱۰	۱۰
جو	۳/۰٦	۳/۰٥	۳/۰٤	۲/۹	۲/۷	۲/٤
برنج (شلتوک)	۲/۳	۲/۲	۲/۲	۲/۳	۲/٦	۲/۳
ذرت	۰/۳	۰/٤	۰/٥	۰/۷	۰/٦	۰/۸
مجموع کلیه غلات	۱٥/۷٦	۱٦/۳٥	۱٦/٥٤	۱۷/۱۰	۱٥/۹۰	۱٥/٥

ماخذ : وزارت کشاورزی، ۱۳۷۷

۱- ۳- منابع آب در جهان

منابع آب در سطح جهان به طور یکسان توزیع نشده است. از ۱۳۸٦ میلیون کیلومتر مکعب آب موجود در جهان ۹۷/٤ درصد آن در اقیانوس‌ها متمرکز است که در حال حاضر به دلیل شوری برای مصارف حیاتی بشر قابل استفاده نمی‌باشد. ۲/٦

درصد منابع آب دنیا یعنی ۳۵ میلیون کیلومتر مکعب را آب‌های شیرین تشکیل می‌دهد اما از این مقدار ۲٤ میلیون کیلومتر مکعب به صورت توده‌های عظیم یخ در مناطق سردسیر دنیا متمرکز است. ۱۰/۵۳ میلیون کیلومتر مکعب را آب‌های شیرین زیرزمینی تشکیل می‌دهد که بخش اعظم آن به علت عمق زیاد و یا دوری از محل مصرف برای استفاده مستقیم بشر چندان مفید نمی‌باشد. آب‌های شیرین موجود در دریاچه‌ها ۹۱۰۰۰ کیلومتر مکعب و رودخانه‌ها ۲۱۲۰ کیلومتر مکعب می‌باشد. بخش بسیار اندکی از آب شیرین نیز در لایه سطحی زیر زمین و یا در اتمسفر قرار دارد که در فرآیندهای مختلف چرخهٔ هیدرولوژی مشارکت دارند.

متوسط بارندگی در سطح خشکی‌های کره زمین ۸۰۰ میلیمتر است که براساس حجمی، رقمی معادل ۱۱۰۰۰۰ کیلومتر مکعب می‌باشد. از طرفی دیگر سالانه ۷۰۰۰۰ کیلومتر مکعب از سطح خشکی‌ها تبخیر می‌شود و زندگی بشر عمدتاً وابسته به اختلاف این دو رقم یعنی ٤۰۰۰۰ کیلومتر مکعب آبی است که به عنوان آب قابل تجدید در نظر گرفته می‌شود. با توجه به پراکندگی و توزیع نامناسب آب، در حال حاضر هر ساله حدود ۱۰ درصد منابع آب شیرین تجدیدپذیر مورد استحصال بشر قرار می‌گیرد. در هر جای دنیا که مقدار بارندگی کمتر از میزان تبخیری آن منطقه باشد، کمبود آب قابل توجه بوده و تنش‌های آبی ظاهر خواهد شد (کاسگرو و همکاران[1]، ۲۰۰۰).

منابع آب در ایران

ایران به دلیل موقعیت جغرافیایی در محدوده‌ای از کره زمین واقع شده است که بیشتر مناطق آن خشک یا نیمه خشک است. همان‌طور که قبلاً اشاره شد عمده‌ترین معیار درجه خشکی نسبت بارندگی به تبخیر و تعرق است که این مقادیر برای مناطق مختلف ایران در جدول (۱-۷) ارائه شده است. گرچه پاره‌ای نقاط کشور مانند نواحی ساحلی دریای خزر از مقدار نسبتاً زیادی بارندگی برخوردار است اما این مناطق

1 -Cosgrove et al., 2000

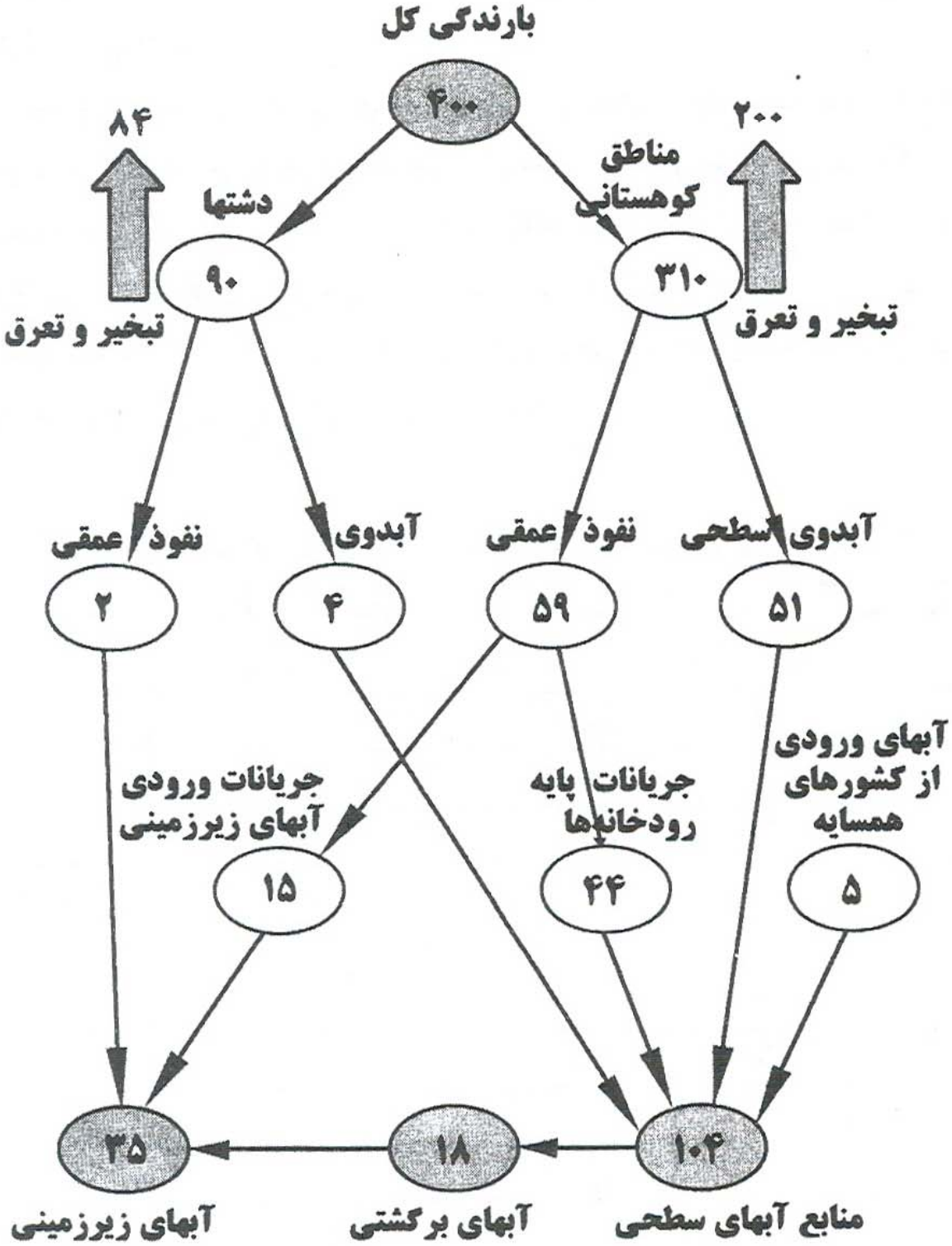
بسیار محدود بوده و فقط بخش کوچکی از کشور را شامل می‌گردند. در مقابل، مناطقی از کشور وجود دارند که در آنها میزان تبخیر بیشتر از ۸ برابر میزان بارندگی می‌باشد.

چنانچه به بیلان تخمینی آب‌های کشور در شکل (۱-۱) توجه شود مشاهده می‌گردد که از مجموع چهار صد میلیارد متر مکعب بارندگی کل کشور در سال، ۲۸٤ میلیارد متر مکعب آن مستقیماً تبخیر شده و فقط بخش کمی از آن به عنوان آب‌های سطحی و یا آب‌های زیرزمینی منابع تجدید شونده کشور را تشکیل می‌دهند. این مقادیر حدود ۱۳۹ میلیارد متر مکعب در سال می‌باشد که کلیه برنامه‌ریزی‌های کشور باید بر اساس آن صورت بگیرد (نی‌ریزی، ۱۳۷۷).

جدول ۱-۷- مقادیر تقریبی بارندگی و توان تبخیر از تشت در چند منطقه از کشور

منطقه	بارندگی سالانه میلیمتر	تبخیر سالانه میلیمتر	منطقه	بارندگی سالانه میلیمتر	تبخیر سالانه میلیمتر
آبادان	۱٤۰	٤۲۰۰	دزفول	۳۲۰	۳٤۰۰
آباده	۱٤۰	۲۸۰۰	رشت	۱۲۲۰	۱۱٥۰
اصفهان	۱۲۰	۲٦۰۰	ساری	٦۳۰	۱۰۰۰
اهواز	۱۷۰	۳٤۰۰	شیراز	۳٥۰	۲۸۰۰
انزلی	۱۹٤۰	۷۰۰	کاشان	۱٤۰	۳۰۰۰
ارومیه	۳۷۰	۱٥۰۰	کرمان	۱۷۰	۳٦۰۰
بندر عباس	۱٥۰	۳٥۰۰	مشهد	۲٤۰	۱۷٥۰
تبریز	۳۲۰	۱٦۰۰	یزد	٦۰	۳۹۰۰
تهران	۲۲۰	۲٤۰۰	زابل	٦۲	٤٥۰۰

مأخذ: شرکت مهندسی مشاور طوس‌آب، ۱۳۷۹



شکل ۱-۱- بیلان تخمینی آب‌های کشور - میلیارد مترمکعب

۱ – ۴- تخصیص منابع آب کشور

با توجه به توزیع جمعیت شهری و روستایی کشور و وضعیت توسعه صنایع، در حال حاضر مصرف آب در کشور از الگوی مناسبی برخوردار نیست. در جدول (۱–۸) درصد توزیع آب بین بخش‌های کشاورزی، صنعت و شرب در شرایط فعلی ارائه شده است. به طوری که در این جدول مشاهده می‌شود ۹٤ درصد از آب استحصالی کشور به مصرف کشاورزی می‌رسد، با توجه به روند رشد جمعیت شهری نسبت به جمعیت روستایی و نیاز به توسعه صنعت به منظور ایجاد اشتغال، این الگوی مصرف آب در آینده تغییر قابل ملاحظه‌ای خواهد نمود.

جدول شماره ۱–۸ – توزیع آب در بخش‌های مختلف کشور، سال ۱۳۷٦

بخش	میزان مصرف (میلیارد متر مکعب در سال)	درصد
کشاورزی	۸۱/۵	۹٤
آب شهری و روستایی	٤/۵	۵
صنعت	۱	۱
جمع	۸۷	۱۰۰

مأخذ : غفاری، ۱۳۷۷

در حال حاضر حدود ٤۰ درصد جمعیت کشور ساکن روستاها هستند. از آنجایی که ظرفیت تأمین اشتغال و درآمد در مناطق روستایی کشور و به طورکلی در بخش کشاورزی محدود می‌باشد، ظرفیت پذیرش جمعیت روستاها در آینده چندان توسعه پیدا نخواهد کرد. با توجه به منابع آب و خاک و امکان توسعه صنایع و خدمات روستایی و نیز خانوار، سقف پذیرش جمعیت در روستاهای کشور در آینده حداکثر به۳۰ میلیون نفر خواهد رسید. با توجه به جمعیت نهایی کشور (جدول ۱–۵) با فرض ۲۷۰ لیتر در روز مصرف سرانه نهایی شرب شهری و ۱۳۵ لیتر در روز مصرف سرانه نهایی روستایی (قدرت‌نما، ۱۳۷۷) و نیاز ٦۰۰ متر مکعب در سال برای ایجاد

هر شغل در بخش صنعت، نیاز شرب و صنعت (شرکت مهندسی مشاور طوس‌آب، ۱۳۷۰) به تفکیک در مقاطع سال‌های ۱٤۵۰-۱٤۰۰ پیش‌بینی می‌گردد (جدول ۱-۹). حال با توجه به پیش‌بینی حداکثر امکان استحصال از منابع آب کشور که بالغ بر ۲۳ میلیارد متر مکعب اضافه بر وضعیت فعلی می‌باشد، الگوی تخصیص آب به مصارف مختلف در مقاطع ۱٤۰۰ و ۱٤۵۰ به صورتی که در جدول (۱-۱۰) آمده برآورد می‌گردد (نی‌ریزی، ۱۳۷۸). بدین ترتیب درصد تخصیص آب به بخش کشاورزی به تدریج از وضعیت فعلی ۹٤ درصد به حدود ۸۱ درصد تقلیل می‌یابد که نزدیک به وضعیت فعلی آسیا است. اگرچه سهم بخش کشاورزی از منابع کشور به تدریج کاهش می‌یابد (برحسب درصد) ولی به لحاظ حجم آب استحصالی در سال تغییر چندانی نسبت به وضعیت فعلی نخواهد داشت. در واقع طرح‌های جدید توسعه منابع آب به طور مستقیم یا غیرمستقیم اکثراً در خدمت توسعه شهرنشینی و صنعت قرار خواهند گرفت. بنابراین توسعه تولیدات کشاورزی برای تأمین غذای جمعیت آتی کشور، که بالغ بر دو برابر جمعیت فعلی کشور خواهد بود، و همچنین افزایش صادرات محصولات کشاورزی به عنوان یکی از منابع مهم تأمین ارز در برنامه‌های اقتصاد بدون نفت، باید با استفاده از همین حجم آب تجدید شونده صورت گیرد. البته بخش عمده‌ای از این توسعه مورد نیاز باید از طریق بهبود مدیریت و بهره‌وری از منابع آب و خاک کشور و ارتقاء ظرفیت‌های ژنتیکی محصولات کشاورزی صورت گیرد. در این راستا نقش باز چرخش آب در مصارف مختلف و استفاده از آب غیر متعارف از قبیل آب‌های شور و لب شور به عنوان منابع آب حاشیه‌ای اهمیت ویژه‌ای پیدا نموده و می‌تواند به عنوان منابع جدید آب، ظرفیت تأمین آب برای تولیدات کشاورزی را نسبت به آنچه در جدول (۱-۱۰) آمده است، افزایش دهد. پیش‌بینی می‌شود که در سال‌های ۱٤۰۰ تا ۱٤۵۰ به ترتیب ۵ و ۱۵ میلیارد مترمکعب از این منابع قابل حصول باشد. از آنجایی که این منابع آب عمدتاً در بخش کشاورزی به مصرف خواهد رسید در نتیجه سهم کشاورزی نیز در الگوی مصرف تغییر می‌یابد.

جدول شماره ۱-۹- پیش‌بینی مقدار مصرف سالانه آب شرب و صنعت در کل کشور در سال‌های آتی

سال	سرانه مصرف آب شرب شهری (لیتر در شبانه‌روز)	سرانه مصرف آب شرب در سال به m^3		کل مصرف سالانه آب شرب شهری به m^3	کل مصرف سالانه آب شرب روستایی به m^3	کل مصرف سالانه آب در بخش صنعت به m^3 *	کل مصرف سالانه آب (صنعت و شرب) به m^3 مقدار
		شهری	روستایی				
۱۴۰۰	۲۷۰	۱۰۰	۵۰	۶/۱×۱۰^۹	۱/۳۵×۱۰^۹	۵/۶۲×۱۰^۹	۱۳/۰۷×۱۰^۹
۱۴۴۰	۲۷۰	۱۰۰	۵۰	۹×۱۰^۹	۱/۵×۱۰^۹	۱۰/۲×۱۰^۹	۲۰/۷×۱۰^۹

*مصرف آب در ازای هر شغل در بخش صنعت معادل ۶۰۰ مترمکعب در سال برآورد شده است
مأخذ: نی‌ریزی، ۱۳۷۸

جدول شماره ۱-۱۰- روند تخصیص منابع آب به شرب- صنعت و کشاورزی در ایران (میلیارد مترمکعب در سال) و مقایسه با وضعیت فعلی آسیا و جهان

سال	۱۳۶۷		۱۳۷۷		۱۴۰۰		۱۴۵۰		آسیا	جهان
بخش مصرف‌کننده	مقدار	درصد نسبت به کل مصرف	مقدار	درصد	مقدار	درصد	مقدار	درصد	درصد	درصد
شرب	۳/۵	۴/۷	۴/۸	۵/۵	۷/۵	۷/۴	۱۰/۵	۹/۵	۶	۹
صنعت	۰/۵	۰/۷	۰/۸	۰/۹	۵/۶	۵/۴	۱۰/۲	۹/۳	۸	۲۲
کشاورزی	۷۰	۹۴/۶	۸۲	۹۳/۶	۸۸/۹	۸۷/۲	۸۹/۳	۸۱/۲	۸۶	۶۹
جمع	۷۴	۱۰۰	۸۷/۶	۱۰۰	* ۱۰۲	۱۰۰	** ۱۱۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰

*افزایش استحصال ۱۵ میلیارد مترمکعب آب در مقطع ۱۳۷۷- ۱۴۰۰ پیش‌بینی شده است.
**افزایش استحصال ۸ میلیارد مترمکعب آب در مقطع ۱۴۰۰- ۱۴۵۰ پیش‌بینی شده است.
مأخذ: نی‌ریزی، ۱۳۷۸

۲- مشخصات کیفی آب شور به عنوان بخشی از منابع آب آبیاری

۲-۱- کلیات و تعاریف

۲-۱-۱- کلیات

یکی از عوامل مهم که حفظ و توسعه کشاورزی اراضی فاریاب را در نواحی خشک محدود می‌سازد، مسئله کمبود آب است. در این راستا، می‌توان از مصرف آب‌های با "کیفیت پایین" یا آب‌های غیر متعارف[1] برای رفع این تنگنا بهره گرفت. به همین جهت کشاورزی در اکثر سرزمین‌های خشک وارد دوران نوینی شده است که دیگر توسعه در زمینه منابع جدید آب که دسترسی به آنها و یا توسعه آنها مشروط به احداث و ایجاد تأسیسات آبی عظیم می‌باشد و یا نیاز به برنامه‌های عظیم پر هزینه ایجاد کانال‌های بزرگ آبرسانی دارد، مدنظر نمی‌باشد. در مقابل به بهره‌برداری مناسب‌تر و بیشتر از آب‌های موجود و در دسترس، که از نظر کیفیت در رده پایین‌تر از آب‌های موجود قرار گرفته‌اند، توجه شده است. هم اکنون بهره‌برداری از آب‌های با کیفیت پایین از اراضی فاریاب در سطح جهانی رو به ازدیاد است. در حال حاضر در کشورهایی نظیر مصر، پاکستان، ایالات متحده آمریکا و نظائر آن در سطح گسترده‌ای از این آب‌ها استفاده می‌کنند. زیرا در اوائل دهه ۹۰ قرن بیستم حدود دو سوم از آب‌های شیرین موجود به مصرف کشاورزی و نیز یک چهارم دیگر آن برای صنایع به کار می‌رفت که با شروع قرن جدید میلادی سهمی که به حجم آب‌های مصرفی کشاورزی اضافه خواهد شد بسیار ناچیز است و حال آنکه مصرف آب در صنایع به دو برابر میزان فعلی افزایش خواهد یافت. چون در روند توسعه صنایع و افزایش جمعیت، مقدار مواد آلاینده افزایشی بر منابع آب شیرین بالطبع بالا خواهد رفت، که به بهای کاهش آب در بخش کشاورزی تمام می‌شود و بنابراین در کل نیاز متقاضی به آب شدیدتر خواهد شد. بنابراین، هرگاه برنامه‌ریزان در زمینه توسعه منابع آب درصدد به کارگیری از سایر منابع آبی که از نظر اقتصادی مقرون به صرفه است، (نظیر استفاده از آب‌های با کیفیت پایین)، سریعا" چاره‌اندیشی نکنند، به علت کمبود حجم آب شیرین که در بخش‌های کشاورزی و صنعت و به ویژه شرب

---

1 -Non – conventional water

وجود خواهد داشت، برنامه‌های توسعه را در کشورهای زیادی واقع در مناطق خشک، در تمام ابعاد، محدود ساخته و در هزاره سوم میلادی، این مشکل حادتر می‌شود.

آب‌های با کیفیت پایین در ردیف آب‌های شور که مورد بحث این نوشتار است ممکن است محتوی مقادیر فراوانی از انواع نمک‌های محلول باشند، که هرگاه، اراضی فاریابی که از این آب‌ها به مدت طولانی آبیاری می‌شوند، بدون توجه به نکات و رعایت اصول مربوطه به مصرف آب‌های شور، تحت کشت باشند، متعاقب آن اراضی تحت کشت در اثر انباشته شدن املاح محلول و یا بروز وضعیت سدیمی خاک در محیط ریشه محصولات زراعی، لاجرم خسارت جبران‌ناپذیری، به خاک، گیاه و محیط زیست وارد می‌گردد. از این قبیل اراضی در سطح جهانی شامل سرزمین‌های وسیعی به وسعت ۲۰ درصد یعنی حدود ٤٥ میلیون هکتار از کل ۲۲۷ میلیون هکتار از اراضی تحت کشت آبی جهان در سال ۱۹۸۹ توسط قاسمی و همکاران (۱۹۹۵) گزارش شده است که مبتلا بودن به شوری و سدیمی این خاک‌ها خسارات جبران‌ناپذیری به تولیدات کشاورزی وارد ساخته است. از اینرو این اراضی اکنون به صورت خاک‌های بی‌حاصل درآمده و در نتیجه، کلیه این اراضی از نظر کاربری به حداقل ممکن تنزل یافته‌اند. بر این اساس شرط اصلی در اجرای مدیریت صحیح از آب‌های غیر متعارف از جمله آب‌های شور، رعایت اصولی است که نه تنها ادامه بهره‌برداری کشاورزی فاریاب را با حفاظت پایدار از منابع آب و خاک تأمین می‌کند، بلکه باید ضامن بقاء عوامل زیست محیطی برای نسل فعلی و آینده رو به رشد باشد. رودز و همکاران (۱۹۹۲)[1] گزارش کرده‌اند که در ایالات متحده آمریکا بیش از دو ثلث از مساحت این کشور بر روی آب‌های زیرزمینی شور قرار گرفته است. در پاکستان هم طبق بررسی‌هایی که اخیراً در برخی اراضی فاریاب به عمل آمده است حدود ۵۰ درصد از آب جاری که فقط درکانال‌های آبیاری از طریق نشت به سفره آب‌های زیرزمینی می‌پیوندد، باعث ایجاد خاک‌های غرقابی شور در اراضی فاریاب شده است که مساحت تقریبی آن‌ها به ۱۰ میلیون هکتار می‌رسد (عزیز، ۱۹۸٦)[2]. در حال حاضر

1- Rhoades et al., 1992
2- Aziz, 1986

از این زه‌آب‌ها در پاکستان و بسیاری دیگر از کشورها بهره‌برداری می‌کنند. این گروه آب‌ها هرچند دارای سطوح شوری گوناگونی هستند، لیکن غالبا" میزان املاح محلول آنها از سطح نمک‌های آب آبیاری متداول مصرفی بالاتر می‌باشد. در شرایطی که آب آبیاری با کیفیت مناسب محدود و کمیاب است، به کارگیری مجدد زه‌آب‌ها نه تنها برای استفاده در اراضی فاریاب از قابلیت‌های خاصی برخوردار می‌باشد، بلکه روش مؤثر و کارآمدی در کاهش امر آلودگی به شمار می‌آید.

همانطور که اشاره شد، بهره‌گیری از آب‌های شور اکنون در برخی از سرزمین‌های خشک قاره‌های آمریکا، اروپا، آسیا، آفریقا و اقیانوسیه متداول می‌باشد که نمونه‌هایی از آنها در بخش مربوطه در این نوشتار شرح داده شده است. بررسی‌های مقدماتی نشان می‌دهد که از این منابع نیز می‌توان در تولیدات کشاورزی و دامی به مقیاس وسیع استفاده کرد که شرح آن خواهد آمد.

درباره مشخصات فیزیکی و شیمیایی آب راهکارهای زیادی ارائه شده است که علاقمندان می‌توانند به منابع مربوطه مراجعه کنند. در اینجا تنها درباره استفاده از آب‌های آبیاری شور شامل گروه آب‌های شور سطحی، زیرزمینی، آب‌های زهکشی و هرزآب‌های سطحی شور در کشاورزی بحث می‌شود.

آب‌های شور در ردیف آب‌های غیر متعارف قلمداد می‌شوند. گرچه تعریف جامع و قابل قبول همگان برای آب‌های با کیفیت پایین ارائه نشده است، لیکن به زعم پسکاد[1] (۱۹۹۲) این گروه آب‌ها درتمام زمینه‌های علمی مورد نظر، می‌توانند به عنوان آبی با ویژگی‌های مشخص مورد استفاده قرار گیرند. طبق تعریف این کارشناس «گروه آب‌های با کیفیت پایین[2] شامل تمام آب‌هایی است که هنگام کاربرد آنها باید به عملیات مدیریتی پیچیده و مراقبت‌های رفتاری سخت و مشکل آفرین کاربردی که به همراه دارند، توجه کرد». برای مثال آب لب شور به خاطر املاح محلول زیاد آن (تا حد ۵۵۰۰ mg/l برابر ۸ dS/m) جزو آب‌های با کیفیت پایین در کشاورزی آبی محسوب می‌شود. لازم به ذکر است که تعیین این حد از شوری از آن جهت است که

1 -Pescod, 1992

2 -Low quality water

این طبقه از آب‌ها تقریباً در حد مرزی مناسب گیاهان مقاوم به شوری قرار می‌گیرند. همچنین آب‌های زهکشی در این گروه آب‌ها طبقه‌بندی می‌شوند. در این نوشتار در هر کجا که به آب لب شور اشاره شود منظور آب‌هایی است که عمدتاً محتوی املاح زیاد تا حدود ۸-۷ dS/m است که کاربرد آنها مدیریت ویژه‌ای را می‌طلبد. بنابراین تمام گروه آب‌های شور سطحی، آب‌های زیرزمینی و زه‌آب‌های شور کشاورزی در ردیف این گروه آب‌ها قلمداد می‌گردد. عامل شوری از مهمترین مؤلفه‌های تعیین کننده خصوصیات کیفی آب آبیاری به حساب می‌آید، و رابطه تنگاتنگی بین شوری آب آبیاری و شوری اراضی تحت کشت از این آب‌ها برقرار است. بدین ترتیب به غیر از خصوصیات ویژه‌ای که برای آب‌های شور می‌توان بر شمرد، کلیه معیارهای تعیین کننده صفات کیفی آب، که برای کشاورزی مسئله‌ساز است، را نیز عیناً می‌توان برای تعیین خطراتی که از بابت مصرف این گروه از آب‌ها در کشاورزی آبی مسئله‌ساز است، در نظر گرفت. از این قبیل عوامل شوری، وضعیت سدیمی در رابطه با نفوذپذیری، نوع کاتیون‌ها و آنیون‌ها، مقدار و نسبت آنها، عناصر جزئی و سمی و سنگین را می‌توان برشمرد. که این مشخصه‌ها جزو مؤلفه‌های اصلی است که تعیین‌کننده معیارهای کیفی مهم در سنجش آب‌های شور در ارتباط با رشد محصولات زراعی نیز می‌باشد. قبل از شروع هریک از معیارهای کیفی مزبور، ابتدا مختصری در مورد اصطلاحات و مفاهیم مربوط به صفات کیفی آب آبیاری، به ویژه در مورد آنهایی که به طور مستقیم و غیر مستقیم در مورد آب شور و تولید محصول از نظر کمی و کیفی مؤثر هستند، اشاره می‌شود. و سپس به معیارهای کیفی و بعد از آن به قسمت طبقه‌بندی آب شور و در نهایت به نمونه‌هایی از مصرف این گروه از آب‌ها پرداخته خواهد شد.

۲-۱-۲- تعاریف و اصطلاحات

- آب مطلوب[1]

عموماً به آب شرب و آب آبیاری گفته می‌شود که میزان غلظت کل مواد جامد (TDS) آن کمتر از ۵۰۰ میلی گرم در لیتر (معادل ۰/۷ dS/m) باشد.

1- fresh water

- آب آبیاری با کمی شوری[1]

آبی که شوری آن از نظر غلظت کل مواد جامد (TDS) بین ۵۰۰ تا۱۵۰۰ میلیگرم در لیتر (۰/۸ -۲/۲ dS/m) تغییر کند. اکنون بعضی از کارشناسان نظیر رودز آب آبیاری را در این گروه از آب‌ها قلمداد می‌کنند که باید با مدیریت ویژه‌ای به کار گرفته شوند.

- آب لب شور[2]

آبی که شوری آن از نظر غلظت کل مواد جامد (TDS) بین ۱۵۰۰ تا ۵۰۰۰ میلیگرم در لیتر (۲/۲ -۷ dS/m) تغییر کند. منظور از آب کمی شور نیز می‌تواند آب لب شور باشد.

- آب شور[3]

آبی که میزان شوری آن از نظر غلظت کل مواد جامد بیش از ۵۰۰۰ میلیگرم در لیتر باشد. در بعضی از فرهنگ‌ها به آبی اطلاق می‌شود که شوری آن به بیش از ۵۰۰۰ میلیگرم در لیتر برسد و شوری آن بیش از آب لب شور باشد. عموماً زه‌آب‌ها و آب‌های زیرزمینی، آب‌های لب شور، در ردیف آب شور به شمار می‌آیند، یعنی میزان TDS آنها بین ۱۵۰۰ تا ۷۰۰۰ میلیگرم بر لیتر (۲/۲-۱۰ds/m) تغییر می‌کند که اکنون به عنوان منابع آب شور مطرح می‌باشند.

- آب نمک یا شور[4]

به آب شوری که میزان نمک آن بسیار بوده و غالباً از تبخیر جزئی آب دریا به دست می‌آید، اطلاق می‌شود. عموماً غلظت کل مواد جامد (TDS) آب شور از ۳۵۰۰۰ میلیگرم در لیتر (معادل ۵۲ dS/m) تجاوز می‌کند. منظور از نمک آب و آب نمک همین آب شور است.

1- marginal water
2- brackish water
3- saline water
4- breine

- آبشویی یا شستشو[1]

به روش انتقال و انحلال مواد و محلول به وسیله آب از یک منطقه از خاک به نیمرخ دیگر خاک، آبشویی گفته می‌شود. بنابراین حذف مواد از یک محل و انتقال آنها به محل دیگر از خاک و بطور کلی فرستادن زه‌آب زمین به درون زهکش و یا به لایه‌های تحتانی، به شستشو و یا آبشویی موسوم است.

- آبشویی مورد نیاز **(LR)**[2]

جزء آبشوئی آن مقدار از حجم آب آبیاری است که مورد نیاز بوده و بایستی از منطقه ریشه جهت رفع شوری خاک، کلرید و یا سدیم (انتخاب آن بستگی به شرایط خاک و گیاه دارد) عبور کند، تا مقادیر مربوطه آنها از میزان سطح قابل تحمل برای محصول مورد نظر، یا آستانه شوری تجاوز نکند. چنین شرایطی در خاک شور، تنها با اجرای نمک‌زدایی میسر می‌گردد. آبشویی مورد نیاز اصولاً برای حالت تعادل پایدار و یا برای مدت نسبتاً طولانی در شرایط متوسط قابل اجرا خواهد بود. در غیر این صورت منجر به شوری ثانویه می‌گردد. آبشویی مورد نیاز به ضریب آبشویی نیز مشهور است.

- اثرات اسمزی[3]

به مقدار نیروی مکش لازم جهت جذب رطوبت از خاک شور که گیاه در مقایسه با خاک غیر شور اعمال می‌کند، گفته می‌شود. وجود نمک‌های غیر محلول در آب خاک به میزان نیرویی که گیاه جهت دریافت آب از خاک اعمال می‌کند، می‌افزاید.

- بازهای تبادلی[4]

محل‌های باردار در سطح ذرات که به سهولت قدرت جایگزینی یونی به جای یون هم بار دیگر مربوط به مواد و نمک‌های محلول را دارند، عموماً بازهای تبادلی خاک سدیم، پتاسیم، منیزیم و کلسیم می‌باشند.

1- leaching
2- Leaching Requirement
3- osmotic effects
4- exchangeable bases

- بیلان املاح[1]

میزان کل نمک‌های محلول در پروفیل خاک در اراضی فاریاب که از محاسبه اختلاف میان مجموع مواد جامد محلولی که با آبیاری وارد منطقه می‌شود و میزان کل مواد جامد محلولی که با زه‌آب از منطقه در طول فصل کشت خارج می‌گردد، برآورد می‌گردند.

- پتانسیل آب خاک[2]

مقدار کاری که باید روی مقدار واحد آب خالص انجام گیرد تا آن را (مثلاً یک گرم) از وضعیت خود خارج و در وضعیتی قرار دهد که یک گرم آب از نظر انرژی در سطح آب آزاد، دارا می‌باشد.

- پتانسیل ماتریک[3]

واژه‌های "پتانسیل ماتریک"، "مکش ماتریک" و "مکش خاک" به طور مترادف به کار می‌روند. این پتانسیل نتیجه نیروهای موئینگی (کاپیلاریته) و نیروی نگهداشت آب توسط ذرات خاک و یا دیواره سلولزی سلول‌های برگ بوده و به طور عمده به ساختار و ویژگی‌های ذرات خاک (ماتریکس خاک) و یا دیواره سلول‌های برگ مربوط می‌گردد. پتانسیل ماتریک عبارت است از مقدار فشار منفی (نیروی مکشی)، نسبت به فشار اتمسفر که باید به آب با ترکیب مشابه آب خاک وارد شود تا از طریق یک دیواره متخلخل با آب خاک به حالت تعادل درآید. در واقع بر اساس همین اصل، تانسیومترهای معمولی ساخته می‌شود.

- تبخیر و تعرق[4] **(ET)**

مجموع آبی که در دوره زمانی معینی از سطح یک قطعه زمین تبخیر و تعرق از اندام‌های رستنی (محصولات کشاورزی و یا گیاهان طبیعی) هنگام ساخته شدن

1- salt balance
2- soil water potential
3- matric potential
4- evapotranspiration

بافت‌های طبیعی به طرف اتمسفر مبادله می‌شود. هرگاه این مقدار به آبی که به مصرف اندام‌های گیاهی می‌رسد اضافه شود، جمعاً برابر آب مصرفی خواهد بود.

- تبخیر و تعرق پتانسیل **(ETo)**[1]

عبارت است از مجموع میزان آبی که برای رشد گیاه مصرف می‌گردد و مقدار آبی که از سطح خاک تبخیر می‌شود، در شرایطی که خاک دارای رطوبت کافی برای رشد گیاه باشد.

- جزء آبشویی **(LF)**[2]

بخشی از میزان آب نفوذی است که از سراسر منطقه ریشه گیاه تا زیر محیط ریشه عبور می‌کند.

- خاک سدیمی[3]

خاک غیر شوری که در اکثر موارد میزان سدیم آن به حدی است که اثرات آن در رشد گیاه و ساختمان خاک بروز می‌کند.

- خاک شور[4]

خاک غیر سدیمی خاکی است دارای نمک‌های محلول، تا حدی که مانع رشد بیشتر گیاه گردد. در شرایط عادی حد پایین هدایت الکتریکی اشباع در چنین خاکی برابر ٤dS/m است (در ۲۵ درجه سانتیگراد). این حد برای گیاهان حساس به شوری برابر نصف این مقدار و در گیاهان مقاوم به شوری به حدود دو برابر این مقدار می‌رسد.

- خاک قلیا[5]

خاکی که میزان سدیم آن در حدی است که رشد اکثر محصولات کشاورزی در آن متوقف می‌شود.

1- potential evapotranspiration
2- leaching fraction
3- sodic soil
4- saline soil
5- alkali soil

- خاک قلیایی[1]

خاکی که عصاره اشباع آن دارای pH=7 باشد.

- درصد سدیم تبادلی (ESP)[2]

درجه اشباع کمپلکس تبادلی خاک از یون سدیم که از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$ESP= \frac{\text{سدیم قابل تبادل (میلی اکی والان درصد گرم خاک)}}{\text{ظرفیت تبادلی کاتیونی (برحسب میلی اکی والان درصد گرم خاک)}}$$

- درصد سدیم محلول (SSP)[3]

اصطلاحی است که در مورد آب‌های آبیاری و عصاره اشباع خاک برای نشان دادن نسبت یون‌های سدیم محلول به غلظت کل کاتیونی به کار می‌رود و از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$SSP= \frac{\text{سدیم قابل تبادل (برحسب میلی اکی والان درصد گرم خاک)}}{\text{ظرفیت تبادلی خاک (برحسب میلی اکی والان درصد گرم خاک)}} \times ۱۰۰$$

- رسانایی یا هدایت الکتریکی (EC)[4]

معرف انتقال الکتریسیته از آب یا عصاره اشباع خاک می‌باشد. این معیار معمولاً برای برآورد مواد جامد محلول به کار می‌رود و بر حسب μ S/cm, mS/cm, dS/m و بیان می‌شود. هدایت الکتریکی را در گذشته برحسب میلی موس بر سانتیمتر (millimhos/cm) که برابر دسی زیمنس بر متر (deciSimens/m) است، بیان می‌کردند.

1- Alkaline soil
2- Exchangeable Sodium Percentage
3- Soluble Sodium Percentange
4- Electrical Conductivity

- رطوبت قابل دسترس **(AW)**[1]

در برخی نوشته‌ها به آن میزان کل آب موجود نیز گفته می‌شود و به صورت زیر بیان می‌شود:

$$AW = D_{rz} (FC - PWP)$$

که در این رابطه:

AW= آب قابل دسترس (آب موجود) بر حسب واحد طول (L)

D_{rz} = عمق توسعه ریشه بر حسب واحد طول (L)

FC= ظرفیت زراعی برحسب درصد حجمی رطوبت

PWP= نقطه پژمردگی دائم یا حد آب قابل استخراج بر حسب درصد حجمی رطوبت.

- سدیم‌دار شدن[2]

فرآیندی که به افزایش تدریجی مقدار سدیم تبادلی خاک منجر می‌شود.

- شاخص لانژلیر**RHc**[3]

معیاری است برای محاسبه و پیش‌بینی میزان رسوبی که در اثر تماس آب آبیاری با خاک در محلول خاک تشکیل شده و با گذشت زمان به شکل رسوب از آب خارج می‌گردد. این شاخص عموماً در مورد تعیین میزان کربنات کلسیم (CO_3Ca) و گچ ($SO_4Ca,2H_2O$) به کار می‌رود. معمولاً میزان رسوب گچ به گونه‌ای است که به حد اشباع نمی‌رسد. لازم به ذکر است که عموماً شاخص لانژلیر درباره خاک‌های آهکی مصداق دارد و به همین جهت در محاسبه RH_C از RH آب که با فاز جامد کربنات کلسیم یا کلسیت (CO_3Ca) که در حال تعادل با محلول خاک است استفاده می‌گردد.

1- Available Water

2- sodication

3- langelier index

- شور شدن[1]

به فرآیند انباشته شدن نمک‌های محلول در آب یا خاک اطلاق می‌شود.

_ شوری خاک[2]

مقدار شوری خاک از کل املاح محلول در خاک تعیین می‌شود و معمولاً از طریق عصاره اشباع در خاک سنجیده می‌شود و بر حسب هدایت الکتریکی اشباع (در درجه حرارت ۲۵ درجه سانتیگراد) بیان می‌گردد. شوری بر حسب هدایت الکتریکی به dS/m, mS/cm, µS/cm بیان می‌شود. هرگاه شوری از نظر غلظت املاح مورد نظر باشد برحسب درصد حجمی یا وزنی بیان می‌گردد.

هرگاه نوع یون‌ها مورد نظر باشد به تعریف یون‌های شور کننده مراجعه شود.

- عصاره اشباع[3]

عصاره حاصل از خمیر نمونه خاکی که قبلاً به اندازه کافی آب دریافت کرده و به حد اشباع رسیده است. هنگامی که خمیری از خاک نمونه به حد اشباع می‌رسد، خواصی از خود نشان می‌دهد که عبارت است از: نور را به سهولت منعکس می‌کند، چنانچه به ظرف خمیری ضربه کوچکی وارد شود (در حالی که ظرف قدری مایل گرفته شود)، خمیر به شکل زبانه بدون آنکه بریزد، حالت خمیری خود را حفظ می‌کند، هنگامی که در گل داخل ظرف با اسپاتول شکاف باریک ایجاد کنند، دیواره ایجاد شده، به حالت اول برمی‌گردد و به راحتی از اسپاتول می‌لغزد. طبیعی است که خاک‌های با بافت سبک این خواص را از خود نشان نمی‌دهند.

- عناصر سنگین[4]

گروهی از عناصر سنگین که هر گاه گیاه آنها را در خود بیش از حد آستانه مجاز انباشته کند، در صورت مصرف توسط موجودات زنده، خطرات بهداشتی قابل ملاحظه‌ای به دنبال خواهد داشت. از این گروه ارسنیک (As)، کادمیوم (Cd)، روی

1- salinization
2- soil salinity
3- saturated soil extract
4- heavy elements

(Zn)، مس (Cu)، سرب (Pb) و جیوه (Hg) را می‌توان نام برد. از آنجا که جرم حجمی این عناصر بیشتر از ٤ گرم در سانتیمتر مکعب است، فلزات سنگین نام گرفته‌اند.

- کاتیون‌های تبادلی[1]

یون‌هایی با بار مثبت که در مجاورت یا روی سطح ذرات جامد کلوئیدی یا کمپلکس تبادلی (خاک) توسط یون‌های با بار منفی نگهداری شده‌اند و توان جایگزینی با سایر یون‌های هم بار در محلول خاک را دارند و عموماً با واحد میلی اکی والان در ۱۰۰ گرم خاک یا در یک گرم خاک (یا سایر مواد مبادله‌کننده نظیر کلوئید رسی یا کلوئید آلی) بیان می‌شود.

- کیفیت آب[2]

عموماً ضوابطی که آب را از نظر بعضی خواص فیزیکی، شیمیایی، بیولوژی (و رادیولوژیکی در مورد آب‌های زیرزمینی) برای مصارف مختلف مشخص ساخته، و درجه تناسب کاربردی آن را تعیین می‌نماید به "کیفیت آب" موسوم است. عموماً کیفیت با تناسب کاربرد "Suitability" مرتبط است و هر مصرف کننده‌ای کیفیت مورد نظر خود را می‌طلبد.

- مجموع مواد جامد محلول **(TDS)**[3]

به کل مواد جامد محلول در آب یا فاضلاب به صورت آلی یا غیرآلی گفته می‌شود، لیکن در آب آبیاری عموماً معرف مجموع شش نوع ماده عمده حل شده شامل Ca^{++}، Mg^{++}، Na^{+}، HCO_3^{-}، Cl^{--} و SO_4^{--} می‌باشد. این معیار معرف کل غلظت مواد محلول در آب است که عبارتست از مواد باقیمانده بعد از تقطیر و خشک کردن (در دمای ۱۰۳ تا ۱۰۵ درجه سانتیگراد) که بر حسب میلی گرم در لیتر بیان می‌شود.

1- exchangeable cation
2- water quality
3- Total Disolved Solid

- محیط ریشه[1]

حجمی از خاک ریشه که گیاه از آن قادر به جذب آب و مواد غذایی می‌باشد.

- نسبت جذبی سدیم **(SAR)**[2]

نسبتی است در مورد آب آبیاری و عصاره اشباع خاک برای نشان دادن سدیم محلول و یون‌های دو ظرفیتی محلول به منظور برآورد کسری سدیم تبادلی خاکی که با محلول مورد نظر در حال تبادل است.

- نسبت جذبی سدیم تعدیل شده **(adjSAR)**[3]

مقدار سدیم جذب شده از آب یا عصاره اشباع که برای تعیین میزان رسوب و مقدار انحلال کلسیم، در مواردی که احتمال وقوع واکنش آب با ترکیبات قلیائی خاک وجود دارد، به کار می‌رود. شاخص لانژلیر یا pH_C معیاری است که در ارتباط با نسبت جذبی سدیم تعدیل شده به کار می‌رود و در رابطه با میزان رسوبی است که از کربنات کلسیم (CO_3Ca) یا گچ (SO_4Ca) در محیط آب خاک و گیاه وارد عمل شده و یا از محیط عمل به صورت رسوب خارج می‌شود. این فاکتور عموماً در مورد خاک‌های آهکی کاربرد دارد.

$$SAR = \frac{[Na]^{+}}{\sqrt{[Ca]^{++} + [Mg]/2}}$$

- نفوذپذیری[4]

به تراوش و حرکت آب به درون خاک گفته می‌شود.

- نمایه نمک[5]

نمایه نمک شاخصی برای تعیین مناسب بودن آب آبیاری است.

1- root zone
2- Sodium Adsorption Ratio
3- Sodium Adsorption Ratio, adjusted
4- infiltration
5- salt index

- یون‌های شورکننده آب و خاک[1]

نمک‌های محلول شور کننده در آب و خاک معمولاً عبارتند از Na^{+}, Ca^{++}, Mg^{++}, $SO_4^{--}, Cl^{-}, HCO_3^{-}, CO_3^{--}$. آب اقیانوس‌ها نیز مرکب از پنج یون اولیه مذکور می‌باشد که عموماً در خاک‌های شور نیز به حد وفور دیده می‌شود. این یون‌ها از نظر تفصیلی و کمیت در درجه اول به شمار می‌آیند. یون‌های دیگر شامل NO_3^{-} و K^{+} می‌باشند. در آب‌های خیلی شور یون‌های سمی نظیر B و عناصر کم مصرف دیگر نظیر Al, Cu, Mo, Mn, Fe, Zn, و Se یافت می‌شود. گاهی عناصر جزئی نظیر Li, As, Se و بعضی دیگر نیز تشخیص داده می‌شود.

۲-۲- مشخصات کیفی آب‌های شور و طبقه‌بندی آنها

۲-۲-۱- مشخصه‌های کیفی

آب از هر منبع طبیعی که سرچشمه گرفته باشد محتوی مقداری املاح خنثی است که مقدار کم و مطلوب این املاح در رشد گیاه مؤثر می‌باشد. لیکن از آنجاییکه آب مورد استفاده در کشاورزی اراضی واقع در مناطق خشک و نیمه خشک محتوی مقدار فراوان از املاح محلول است و چون گیاه آب و مواد محلول را مستقل از هم جذب می‌کند و از آنجایی که احتیاجات گیاه به املاح با قسمت بسیار کمی از املاح اضافه شده از طریق آبیاری تأمین می‌گردد بنابراین در هر آبیاری مقداری از املاح در خاک متراکم می‌گردد که اگر از شور شدن خاک‌های تحت کشت آبی جلوگیری به عمل نیاید، طی آبیاری‌های مکرر و با گذشت زمان مقدار زیادی از املاح مختلف به خاک اضافه شده و به تدریج اراضی کشاورزی ارزش خود را از دست می‌دهند. مقدار نمک محلول در آب آبیاری عموماً بین ۵۰۰ تا ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر (معادل ۰/۷ – ٤/۲ *dS/m*) و بیشتر تغییر می‌کند، یعنی به ازاء ارتفاع آب آبیاری یک متر، با شوری مختلف، ممکن است بین ۰/۵ تا ۳۵ تن املاح محلول در هر سال در هر هکتار در خاک انباشته گردد. این قبیل اراضی سرانجام به اراضی لم یزرع مبدل می‌گردد. تشکیل اکثر خاک‌های شور و سدیمی در ایران نظیر قسمتی از اراضی واقع در

1- salinity constituents

خوزستان و اصفهان و آذربایجان و دیگر مناطق کشور و نقاط زیادی در سراسر نواحی خشک و نیمه خشک جهان که کشت آبی در آنها معمول است به طریق مزبور بوده و در حال حاضر نیز سالیانه میلیون‌ها هکتار بر وسعت آنها اضافه می‌شود. به همین جهت اطلاع از چگونگی کیفیت آب آبیاری و تجزیه و تحلیل آن در بهره‌برداری اقتصادی از اراضی آبی اهمیت زیاد دارد. اصولاً تراکم املاح محلول در خاک در ارتباط با کیفیت آب آبیاری، مدیریت اجراء و زهکشی مناسب خاک می‌باشد که تحت هر شرایطی که به افزایش تدریجی املاح محلول در خاک بیانجامد سرانجام به نقصان عملکرد محصول منتهی خواهد شد. بنابراین برای کنترل آن همواره باید سعی کرد که میزان غلظت املاح زیر حد آستانه‌ای تحمل گیاه به شوری باشد.

از طرفی گیاهان نسبت به خصوصیات کیفی و کمی آب شور به مراتب بیشتر از آب‌های معمولی عکس العمل نشان می‌دهند. به طوریکه غالب مسائل و مشکلات کشاورزی در اراضی فاریاب از شوری و سدیمی بودن آب آبیاری ناشی می‌شود. از آنجا که این واکنش تا حدود زیادی تحت تأثیر عملیات مدیریتی در ارتباط با مشخصه آب آبیاری، خاک وگیاه می‌باشد، بنابراین مصرف این گروه آب‌ها بدون توجه به نکات مدیریتی در ارتباط با معیارهای کیفی آنها، باعث بروز مسائل مشکل‌آفرین بالقوه ناشی از مصرف نامعقول از آب‌های شور می‌گردد. از اینرو بروز مسائل ناشی از ترکیب شیمیایی آب آبیاری اثرات مخرب جبران‌ناپذیری بر تمام ابعاد توسعه کشاورزی آبی پایدار خواهد داشت. بنابراین شناخت معیارهای کیفی آب‌ها و مشخصه‌های آنها در انتخاب روش‌های مدیریتی و عملیات اجرائی آب‌ها از اولویت خاصی برخوردار بوده و توجه و نهایت دقت مربوطه را می‌طلبد.

معیارهای تشخیص خطرات آبیاری با آب شور عبارتند از:

۲-۲-۱-۱. شوری

۲-۲-۱-۲. سدیم و دشواری نفوذ آب در خاک و عملیات خاک‌ورزی[1]

۲-۲-۱-۳. اختلالات تغذیه‌ای[2]

1- Soil infiltration and tilth
2- nutritional imbalance

۲-۲-۱-٤. یون‌های سمی

۲-۲-۱-٥. عناصر کمیاب و سنگین

۲-۲-۱-٦. مسائل متفرقه و سایر ملاحظات

۲-۲-۱-۱- شوری

شوری مهمترین و متداول‌ترین معیار تعیین‌کننده کیفیت آب آبیاری قلمداد می‌شود. اصطلاح شوری، معرف غلظت کل یون‌ها و مولکول‌های محلول در آب، اعم از آب آبیاری، زهکشی و زیرزمینی است. ترکیباتی که معرف شوری آب هستند، غالباً مرکب از کاتیون‌های کلسیم Ca، منیزیم Mg، سدیم Na و آنیون‌های کلرید Cl، سولفات SO_4، بیکربنات HCO_3 می‌باشند. پتاسیم K و نیترات NO_3 در درجه دوم اهمیت‌اند و به ندرت از عوامل مهم شوری محسوب می‌شوند و به همین جهت در ارزیابی شوری آب‌های شور از سنجش این یون‌ها وسایرین، من جمله بُر B نیز صرفنظر می‌شود. گرچه در بعضی از آب‌های زیرزمینی غلظت این یون به حد بالایی می‌رسد که در آن صورت باید به آنها توجه شود.

چون غلظت کل مواد محلول در آب که معرف شوری است، از نظر تأثیرپذیری در سلول زنده بسیار شدید می‌باشد، از این رو غالب گیاهان در حال رشد، نسبت به آن واکنش بسیار سریع نشان می‌دهند (با مقایسه اثر یون خاص). بنابراین شوری از مؤلفه‌های مهم در توصیف کمی و کیفی این گروه از آب‌ها به شمار می‌آید. عموماً با افزایش شوری آب آبیاری بر شوری خاک نیز اضافه می‌گردد که آن نیز عوامل دیگری را در رابطه با آب و خاک تحت تأثیر قرار می‌دهد، نظیر: ضریب و راندمان آبشویی، ترکیب یونی آب آبیاری و همچنین خصوصیات فیزیکی خاک از قبیل میزان تراوش، پایداری و یا فروپاشی خاکدانه‌ها، خواص رطوبتی و زهکشی خاک و میزان آب مصرفی. بنابراین بیشتر مسائل مربوط به شوری آب آبیاری با آب‌های شور که از نظر کیفی و کمی، خاک و گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد ناشی از اثر یون‌های غالب و سایر یون‌های موجود و سمت و سوهایی است که این یون‌ها و نمک‌های محلول در آب، خاک و گیاه مربوطه به جای می‌گذارد.

الف- غلظت کل املاح

از مهمترین خصوصیات کیفی آب به ویژه گروه آب‌های شور، غلظت کل یون‌های غیر آلی موجود در آنها است که هرگاه میزان آن، که برحسب غلظت است، از حد معینی بگذرد، گیاه عکس العمل نشان می‌دهد و افزایش بیش از حد آن موجب اختلال در رشد گیاه می‌شود. این مشخصه تحت عنوان کل مواد جامد (TDS) اندازه‌گیری می‌شود و واحد آن برحسب میلیگرم در لیتر است. همانطور که قبلاً اشاره شد از نمک‌های عمده‌ای که سهم اصلی را در شوری آب دارند کاتیون‌های کلسیم، منیزیم، سدیم، آنیون‌های کلرید، سولفات، بیکربنات و گاهاً کربنات را در مواردی که اسیدیته خاک از ۸ تجاوز کند، می‌توان برشمرد. مهمترین کاربرد پارامتر غلظت کل املاح در آب آبیاری در تخمین پتانسیل اسمزی (که قبلاً به آن فشار اسمزی می‌گفتند) محلول به ویژه آب خاک است. به لحاظ تأثیر پتانسیل اسمزی آب خاک بر رشد گیاه، معمولاً نخستین توجه در ارزیابی کیفیت آب آبیاری، تعیین غلظت کل املاح است.

عموماً برای آب‌هایی که میزان TDS آنها بین ۵۰ تا ۱۰۰ میلیگرم در لیتر است، رابطه بین پتانسیل اسمزی و TDS را به صورت عبارت تقریبی زیر می‌توان نشان داد:

$$\varphi' = -0.056 \times 10^{-4} \times \mathrm{TDS} \qquad (۱-۲)$$

در رابطه (۲-۱)، φ' برحسب مگا پاسکال و TDS برحسب میلیگرم در لیتر است. در شرایطی که هیچگونه اثرات اضافه شدن و یا خارج شدن املاح از منابع خاصی، نظیر انحلال نیترات‌ها و یا شوری باقیمانده خاک وارد سیستم آب و خاک نشود و یا مقدار زیادی املاح از سیستم آب و خاک از طریق رسوب نیترات‌ها و یا جذب توسط گیاه از سیستم خارج نگردد، رابطه (۱-۲) را می‌توان به منظور پیش‌بینی اثرات اسمزی روی رشد گیاه در محلول‌هایی که به واسطه تبخیر و تعرق غلظت آنها در محدوده‌های نسبتاً بالا نوسان می‌کند، به کار برد. این رابطه بدون علامت منفی برابر فشار اسمزی است.

عده‌ای اثرات تغذیه‌ای شوری را به مفهوم بر هم زدن تعادل در تغذیه گیاه که مانع از رشد نبات می‌گردد، ناشی از ناتوان ساختن گیاه در ادامه جذب یون‌های غذایی از محیط ریشه و اثر حضور مقادیر زیاد املاح محلول اطراف سطح ریشه گیاه می‌دانند. در حالیکه دانشمند فیزیولوژی گیاهی، لویت[1] اعتقاد دارد که صدمات ناشی از اثر یون‌های سمی روی ریشه است که مانع رشد می‌گردد. اکنون تحقیقات متعددی مبین آن است که اثرات یون‌های ویژه موجود در آب آبیاری با صدماتی که از شوری است، به هم گره خورده و در کل باعث نقصان عملکرد محصول می‌شود.

اندازه‌گیری- تشخیص اثرات سوء شوری آب خاک نیاز به برآورد TDS دارد.

در گذشته سنجش این معیار(TDS) را از طریق توزین مواد باقیمانده از حجم معینی از آب تا مرحله خشک شدن (دمای حدود ١٠٠ درجه سانتی‌گراد)، برآورد می‌نمودند. چنین اندازه‌گیری خالی از اشکال نمی‌باشد زیرا نمک‌های هیدراته (آبدار بودن) محتوی مقادیری از مولکول‌های آب هستند که میزان از دست دادن این آب‌های هیدراته در ارتباط با درجه خشک کردن آنها است. با این توضیح به دلیل آنکه اندازه‌گیری مستقیم عملی نمی‌باشد، یک روش معمول برای تخمین TDS، اندازه‌گیری هدایت الکتریکی آب (EC) می‌باشد.

ب- هدایت الکتریکی (EC)

متداول‌ترین روش برای توصیف کمی شوری آب و خاک اندازه‌گیری هدایت الکتریکی است که اولین بار بیش از نیم قرن قبل توسط اسکوفیلد[2] در ١٩٤٢ به عنوان معیاری از کیفیت آب آبیاری که بتواند با رشد گیاه همبستگی داشته باشد، معرفی گردید. اندازه‌گیری هدایت الکتریکی بر این اصل استوار است که هرگاه جریان الکتریکی از درون محلول حاوی نمک تحت شرایط استاندارد عبور داده شود به علت آنکه مولکول‌های نمک به محض انحلال در آب به ذرات باردار (یون‌ها)، تجزیه می‌شوند، جریان برقرار می‌شود. این ذرات دارای بار مثبت ومنفی هستند که با افزایش غلظت محلول، افزایش می‌یابند. با این نگرش، اساس کار دستگاه‌های هدایت

1- Levitl, 1972
2- Schofield, 1942

الکتریکی به این ترتیب است که دو الکترود با شکل هندسی مشخص ایجاد شده و بین آنها پتانسیل الکتریکی برقرار می‌شود، و در نتیجه یون‌های مثبت به سمت الکترود منفی و یون‌های منفی به طرف قطب مثبت حرکت می‌کنند. این حرکت یون‌ها باعث می‌شود که آب هدایت الکتریکی پیدا نموده و مقاومت الکتریکی محلول مشخص گردد.

واحد اندازه‌گیری هدایت الکتریکی در سیستم واحدهای بین‌المللی[1] (SI)، دسی زیمنس بر متر است که اکنون جایگزین میلی موز بر سانتی متر که واحد قدیمی بوده و برابر دسی زیمنس بر متر است، شده است. چون این دو واحد عیناً برابر یکدیگر می‌باشند بنابراین در این نوشتار هر کجا میلی موز بر سانتی متر به کار رفته است واحد جدید آن یعنی دسی زیمنس بر متر جایگزین می‌گردد و برابر یکدیگرند. مقدار EC نسبت به دما حساس می‌باشد. آزمایش نشان می‌دهد که مثلاً در محدوده بین ۱۵ تا ۳۵ درجه سانتیگراد، میزان EC، ۰/۲ درصد تغییر می‌کند. یعنی هدایت الکتریکی هر محلول نمکی با شوری تقریباً معادل، دو درصد در هر درجه سانتیگراد باید استاندارد شود. چون دمای استاندارد برای EC، ۲۵ درجه است تصحیح مربوط به دما در ºC ۲۵ صورت می‌گیرد. برای مثال اگر هدایت الکتریکی محلول برابر ۲/۸۵dS/m در دمای ۱۸ درجه سانتگراد باشد، در درجه حرارت ۲۵ برابر ۳/۰dS/m خواهد بود و بر عکس: یعنی برای تعیین معادل ۲۵ درجه، از دمای ۱۸ خواهیم داشت:

$$EC_{25}=EC_T-0.02(T-25)EC_T \qquad (۲-۲)$$

$$EC_{25}=2.85-0.02(18-25)2.85$$

$$EC_{25}=3.25$$

EC_{25}= هدایت الکتریکی دردمای ۲۵ درجه سانتیگراد

EC_T= هدایت الکتریکی در دمای محلول اندازه‌گیری شده

T= درجه حرارت محلول به سانتیگراد

علاوه بر درجه حرارت، عوامل دیگری نیز وجود دارند که در میزان هدایت الکتریکی مؤثر می‌باشند. از آن جمله وجود برخی یون‌ها است که هادی بهتر جریان

1-International Unit System

الکتریسیته هستند. لیکن با آنکه میزان هدایت الکتریکی با افزایش میزان املاح فزونی می‌یابد، شدت این افزایش با ازدیاد غلظت نمک‌های محلول همسانی ندارد. این بدین معنی است که مثلاً دو برابر شدن غلظت املاح با دو برابر شدن هدایت الکتریکی همراه نیست. این بدان علت است که همزمان با افزایش نمک‌های محلول، ذراتی از املاح خنثی نیز تشکیل می‌گردد که سهمی در بالا بردن هدایت الکتریکی ندارند. به علاوه درصد تشکیل این نوع ذرات خنثی نیز با افزایش غلظت محلول افزایش می‌یابد. این نکته در اندازه‌گیری میزان واقعی EC از آن جهت مؤثر است که در عمل هنگامی که محلول محتوی املاح غلیظ برای اندازه‌گیری EC در آزمایشگاه مورد بررسی قرار می‌گیرد باید با آب مقطر رقیق شود که در نتیجه این نمونه رقیق شده به طبع کمتر از مقدار محلول واقعی، EC را نشان می‌دهد.

اندازه‌گیری هدایت الکتریکی آب و عصاره اشباع خاک

همانطور که می‌دانید قابلیت هدایت الکتریکی آب خالص بسیار کم است ولی به طوریکه قبلا" اشاره شد هنگامی که جسم الکترولیتی در آب حل شود، قسمتی از آن جسم در اثر تجزیه الکترولیت‌ها به یون‌های مثبت و منفی که هادی جریان الکتریکی می‌باشند، تجزیه شده و در نتیجه آن جسم هادی جریان الکتریسیته در محلول خواهد گردید. این هدایت الکتریکی تقریبا" نسبت مستقیمی با مقدار جسم حل شده خواهد داشت. از این رو می‌توان گفت با اندازه گرفتن هدایت الکتریکی آب یا عصاره خاک و یا محلول، می‌توان به غلظت تقریبی املاح حل شده پی برد.

برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی دو الکترود را در درون گل اشباع (که مشابه محیط ریشه دوانی است) (EC_e)، آب (EC_W) و یا آب خاک داخل می‌کنند و مقدار مقاومت الکتریکی را بر حسب زمان و عمق خاک قرائت کرده و معدل‌گیری می‌نمایند. مقاومت الکتریکی محلول (R) نسبت مستقیمی با فاصله بین الکترودها و نسبت معکوس با سطح مقطع هادی آنها (S) داشته و می‌توان آن را به صورت رابطه زیر نوشت:

$$R = r \cdot L/S \qquad (۳-۲)$$

که در آن r مقاومت مخصوص است و بستگی به نوع جسم هادی دارد.

هرگاه R برحسب اهم و L برحسب سانتیمتر و S برحسب سانتیمتر مربع باشد r برحسب اهم سانتیمتر نمایش داده خواهد شد. معکوس مقاومت الکتریکی (1/R) هر محلول را هدایت الکتریکی (EC) ومعکوس مقاومت مخصوص 1/r را هدایت مخصوص می‌نامند.

واحد هدایت الکتریکی زیمنس برمتر است و معادل با یک اهم بر سانتیمتر می‌باشد. برای هدایت الکتریکی کمتر از یک زیمنس بر متر واحد $EC10^{-3}$ و یا $EC10^{-6}$ واحد رایجی است که به ترتیب به صورت dS/m یا µS/cm، نشان داده می‌شود.

همانطوری که اشاره شد هدایت الکتریکی هر محلول با ازدیاد حرارت آن افزایش می‌یابد. معمولاً دستگاه‌های مقاومت‌سنج و یا حرارت‌سنج را برای حرارت ۲۵ درجه سانتیگراد تنظیم می‌کنند و هر گاه مقدار حرارت محلول از این مقدار بیشتر و یا کمتر از این مقدار باشد، بایستی هدایت الکتریکی قرائت شده را در ضریبی که از جدول مربوطه استخراج می‌شود ضرب کرد (تقریبا" ۲٪ برای هر درجه حرارت، به رابطه (۲-۲) مراجعه شود).

وسایل کار: مقاومت‌سنج یا هدایت‌سنج، الکترود، دماسنج

مواد لازم: مقدار ۰/۷٤٥٦ گرم در لیتر KCl، ۰/۷٤٥٦ گرم کلرورپتاسیم را در یک لیتر آب حل کنید. این محلول استاندارد در ۲۵ درجه سانتیگراد دارای هدایت الکتریکی برابر ۰/٤۱۱۸ میلی‌موس بر سانتیمتر می‌باشد.

طرزکار: ابتدا مقاومت الکتریکی محلول استاندارد را طبق دستور کارخانه سازنده دستگاه اندازه‌گیری می‌کنند و پس از شستشوی الکترود با آب مقطر مقاومت الکتریکی محلول یا عصاره اشباع خاک را تعیین می‌نمایند. در عمل برای آنکه احتیاج به تصحیح اعداد قرائت شده نباشد، بهتر است از دو محلول در حرارت مساوی اندازه‌گیری به عمل آید.

$$EC(dS/m) = \frac{0.0014118 \times Rstd^{+}}{R_{ext}} \qquad (٤-٢)$$

محاسبه :

در این رابطه R_{std+} و R_{ext} به ترتیب مقاومت الکتریکی محلول استاندارد و محلول عصاره اشباع و یا آب می‌باشد.

ج- نسبت‌های عصاره خاک به آب

از آنجا که اندازه‌گیری‌های میزان رطوبت خاک در حد عصاره اشباع، θ_s[1] در خاک‌های بافت‌ریز و متوسط عموماً دو برابر رطوبت در حد ظرفیت زراعی[2]، θ_π است بنابراین می‌توان به طور تقریب میزان غلظت املاح محلول در حد عصاره اشباع را نصف غلظت املاح محلول در آب خاک در ظرفیت زراعی در نظر گرفت:

$$\theta_s=2\theta_\pi \qquad (٥-٢)$$

$$EC_w=2EC_e \qquad (٦-٢)$$

در این صورت برای مثال هرگاه میزان EC_e برابر ٤dS/m باشد، میزان شوری در حد محلول خاک حدود ٨dS/m خواهدبود. طبیعی است در خاک‌های بافت درشت به علت آن که املاح محلول بسهولت بیشتری از فاز جامد وارد محلول خاک می‌گردد، به شوری آنها بیشتر است. در مثال بالا، و در یک حد رطوبت مشابه مقدار شوری در خاک‌های شنی به میزان ١٢dS/m خواهد رسید.

چون نتیجه عصاره حاصل از نسبت خاک به آب ١:١ و ١:٥ با سهولت بیشتر نسبت به تهیه عصاره اشباع امکان‌پذیر است، از اینرو در اکثر آزمایشگاه‌ها کاربرد این نسبت‌ها رایج‌تر می‌باشد. پس از اندازه‌گیری برای تبدیل آن مقادیر به EC_e از طریق تصحیح عمل می‌کنند. یعنی همانطور که در بالا درباره روابط رطوبتی بین حد

1- Soil saturated moisture
2-Field capacity

عصاره اشباع و ظرفیت زراعی بیان شده در خصوص نقطه پژمردگی نیز می‌توان اضافه کرد که مقدار رطوبت در این حالت نصف مقدار آب در نقطه ظرفیت زراعی است و بنابراین میزان افزایش شوری به همان نسبت خواهد بود.

نظر به اینکه رابطه مستقیمی بین افزایش شوری که در اثر تنش رطوبت در خاک ایجاد می‌شود و بالارفتن میزان فشار اسمزی[1] (OP) برقرار است. بنابراین افزایش شوری خاک فی‌الواقع یکنوع تشنگی فیزیولوژیکی در گیاه بوجود می‌آورد که در اثر فزونی فشار اسمزی یا نقصان پتانسیل اسمزی[2] (Ψ_π) است که در این باره بعداً اشاره خواهد شد

د- تهیه نقشه شوری به روش‌های ژئوفیزیکی و طبقه‌بندی گیاهان زراعی نسبت به تحمل درجه شوری

از آنجا که توجه اصلی این نوشته در رابطه با بهره‌برداری از آب‌های شور است و افزایش مسئله شوری بیش از حد آستانه‌ای گیاه مسئله‌ساز خواهدبود، بنابراین اندازه‌گیری دائمی عامل شوری از ضروریات طرح‌های آبیاری در مناطق خشک در رابطه با حفظ و ادامه کشاورزی پایدار خواهد بود. اما به دلیل آنکه اندازه‌گیری شوری به صورت دایم و در مقیاس گسترده در طرح‌های کشاورزی از بعد زمانی و مکانی با روش‌های معمول آزمایشگاهی فعلی مشکل و غیر عملی است، بنابراین به کارگیری روش‌های مناسب‌تر که بتواند شوری آب و خاک را حتی در شرایط غرقابی، به طور دائم و از تمامی طبقات جبههٔ رطوبتی در خاک ثبت کند، از قبیل روش سنجش از راه دور، کمک زیادی به کنترل و مدیریت کشاورزی فاریاب در مناطق زیر کشت خواهد بود. از آنجایی که این ابزارها به طور خودکار عمل می‌کنند، نه تنها تغییرات زمانی و مکانی را ثبت می‌کنند، بلکه عموماً خطاهای ناشی از تغییرات عوامل جوی در اندازه‌گیری صحرایی، به دور بوده و تحت تأثیر شرایط نامساعد صحرائی نیز قرار نمی‌گیرند. در نتیجه می‌توان گفت که روش فوق ابزاری مناسب جهت اندازه‌گیری مشخصه‌های شوری که تابع عوامل دینامیکی با دامنه تغییرات وسیع

1- Osmotic Pressure
2- Osmotic Potential

نظیر خصوصیات نفوذپذیری خاک، اقلیم، وضعیت هیدروژئولوژی و مدیریتی است، می‌باشند. به ویژه آنکه داده‌هایی نظیر شوری خاک تابع عوامل خاکشناسی، مدیریتی، وضعیت عمق سفره آب سطحی و شرایط جوی بوده و با گذشت زمان به علت ناپایدار بودن، اعتبار خود را به ارقام و اعداد و اندازه‌گیری‌های جدید می‌دهند. ابزارهای نوین از ویژگی‌هایی برخوردارند که قادرند نقشه شوری خاک را به صورت روزانه دائماً ثبت کرده و در اختیار کارشناسان قرار دهند. در نتیجه با استفاده از آنها امکان تصمیم‌گیری سریع و کارآمد در مزارعی که با مسئله شوری روبرو هستند وجود دارد.

برحسب تحقیقاتی که رودز[1] در ۱۹۹۰در دره سن واکین کالیفرنیا درباره وضعیت شوری خاک‌های منطقه به عمل آورده است به این نتیجه رسیده است که اطلاعات قابل اعتماد در این باره از بررسی هدایت الکتریکی کل توده خاک، برآورد آب خاک و درصد رس حاصل خواهد شد. این نتیجه‌گیری در اثر تجزیه و تحلیل بیش از ۷۰۰ نقطه اندازه‌گیری می‌باشد. در مطالعات دیگری که این دانشمند در همان سال انجام داده است با مقایسه تجزیه خاک و آب از نظر شوری در اراضی وسیعی در کالیفرنیا ثابت کرده است که با تهیه نقشه شوری خاک و با به کارگیری وسایل ژئوفیزیکی به خوبی می‌توان برآورد قابل اطمینانی از وضعیت منطقه به دست آورد. مطالب زیر در مورد کاربرد این وسایل در بررسی‌های صحرایی شامل وسایل قابل حمل و نیز روش‌های هوابرد الکترومغناطیسی و سنجش از راه دور می‌باشد. به طور کلی در فن‌آوری‌های موجود در حال حاضر از دو گروه عمده وسائل سنسورهای هدایت الکتریکی و سنجش از راه دور استفاده می‌کنند که عبارتند از:

۱) وسایل اندازه‌گیری صحرایی شوری خاک[2]

- روش اندازه‌گیری مقاومت خاک[3] یا سنسورهای ٤ الکترودی هدایت الکتریکی
- روش الکترو مغناطیسی[4]
- مطالعات موردی الکترومغناطیسی[5]

1- Rhoades, 1990 a
2- Ground methods
3- Resistivity method
4- Electromagnetic method
5- Electromagnetic case studies

- دستگاه آزمایش هدایت الکتریکی ماشین متحرک

۲) روش هوابرد الکترومغناطیسی[1]

- روش سنجش از راه دور[2]

برای مثال در جدول (۲-۱) خصوصیات دستگاه‌های قابل حمل جمع‌آوری شده است:

جدول ۲-۱- خصوصیات دستگاه‌های قابل حمل

روش	امتیازات و محدودیت‌ها
سنسورهای ٤ الکترودی	- رطوبت خاک ۸۰ درصد یا بیشتر - احتیاط مخصوص در خاک‌های سنگین - ۵۰ درصد کارایی - کاربرد در عمق تبخیر - ارزش ۲٦۰۰ دلار آمریکا
انتشار الکترومغناطیسی	- رطوبت خاک ۸۰ درصد - تداخل با فلزات - عملکرد فقط در یک عمق - ۹۵ درصد کارایی - ارزش ۳۵۰۰ دلار آمریکا
روش برداشت از خاک اشباع	- کاربرد مشکل در خاک رسی - هدایت الکتریکی خاک را تعیین می‌کند - هدایت الکتریکی و SAR - ارزش ۸٦۰ دلار آمریکا

نظر به این که شرح در مورد خصوصیات دستگاه‌های فوق در مقوله این کتاب نمی‌گنجد، علاقمندان جهت کسب اطلاعات بیشتر به کتاب "شوری منابع آب و خاک" (قاسمی و همکاران، ۱۹۹۵) و منابع مشابه مراجعه نمایند.

1- Airborne electromagnetic method
2- Remote sensing

جدول ۲-۲- طبقه‌بندی گروه‌های اصلی گیاهان در رابطه با درجه شوری (هدایت الکتریکی) عصاره اشباع با عملکرد محصول

هدایت الکتریکی بر حسب $(EC_e)dS/m$	عملکرد محصول از نظر حساسیت به شوری	گروه های خاک از نظر شوری
۰ – ۲	تأثیر شوری خاک در گیاه ناچیزاست	غیرشور
٤ – ۲	ممکن است عملکرد گیاهان حساس به شوری کاهش یابد.	کمی شور
۸ – ٤	عملکرد گیاهان حساس به شوری کاهش می‌یابد.	نسبتاً شور
۱٦ – ۸	تنها گیاهان مقاوم به شوری عملکرد رضایتبخش دارند	شدیداً شور
بیش از ۱٦	فقط معدودی از گیاهان بسیار مقاوم به شوری عملکرد اقتصادی دارند	فوق العاده شور

اخیراً رودز (۱۹۹۲) در خصوص حد آستانه شوری محصولات زراعی جدول زیر را پیشنهاد کرده است.

جدول ۲-۳- طبقه‌بندی گروه‌های اصلی گیاهان زراعی در رابطه با متوسط آستانه شوری محیط ریشه آنها در خاک

درجه حساسیت	آستانه شوری (dS/m)
گیاهان حساس	۰ – ۱/۵
نیمه حساس	۱/۵ – ۳/۰
نیمه مقاوم	۳/۰ – ٦/۰
مقاوم	٦/۰ – ۱۰/۰
خیلی مقاوم	> ۱۰/۰

در آزمایشگاه یون SO_4^{2-} را معمولاً با رسوب دادن Ba^{2+} و سپس توزین میزان رسوب به دست می‌آورند. اما از آنجایی که توزین مقدار رسوب کار آسانی نیست، در عمل می‌توان میزان تقریبی SO_4^{2-} را با استفاده از تفاضل میزان مجموع کاتیون‌های $Ca^{2+} + Na^{+} + Mg^{2+} + K^{+}$ با مجموع آنیون‌های $+ CO_3^{2-} + HCO_3^{-}$ Cl^{-} برآورد کرد.

میزان دقت تجزیه املاح در عصاره اشباع خاک را ممکن است از روابطی که اصولاً بین برخی از مواد موجود در عصاره برقرار است بررسی کرد. این روابط کمک شایان توجهی در تغییر نتایج حاصل از تجزیه آزمایشگاهی خواهد داشت.
این روابط عبارتند از :

۱- هنگامی که هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک بیش از ده دسی زیمنس برمتر باشد نسبت مجموع غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها برحسب میلی‌اکی‌والان در لیتر ده برابر مقدار هدایت الکتریکی (EC) خواهد بود.

۲- قاعدتاً (از نظر تئوری) جمع کل غلظت کاتیون‌ها بایستی برابر با جمع کل غلظت آنیون‌ها برحسب میلی اکی والان در لیتر باشد. همانطور که در بالا اشاره شد از این خاصیت برای برآورد تقریبی میزان یون SO_4^{-2} در آب و عصاره اشباع استفاده می‌کنند.

۳- آنیون CO_3^{2-} در عصاره اشباع نهائی قابل اندازه‌گیری است که مقدار pH خاک بیشتر از ۸/۵ است هنگامیکه عصاره اشباع فاقد این آنیون باشد میزان HCO_3 به ندرت از ۱۰ میلی‌اکی‌والان در لیتر تجاوز خواهد کرد. ولی pH کمتر از ۷ مقدار HCO_3 معمولاً کمتر از سه یا چهار میلی‌اکی‌والان در لیتر خواهد بود.

٤- در صورتیکه در عصاره اشباع $pH > 9$ باشد مجموع غلظت Mg^{++} و Ca^{++} معمولاً کمتر از ۲ میلی‌اکی‌والان در لیتر است. بنابراین مجموع این دو کاتیون هنگامی که CO_3^{2-} به میزان قابل اندازه‌گیری در عصارهٔ اشباع موجود است، کم خواهد بود. همچنین اگر غلظت HCO_3 در عصاره اشباع زیاد باشد هیچگاه مجموع Mg^{++} و Ca^{++} در عصاره اشباع زیاد نخواهد شد.

۵- بعضی از روابط در برآورد میزان TDS از طریق اندازه‌گیری EC و یا بالعکس به قرار زیر است. (در حرا رت ۲۵ درجه سانتیگراد)

الف – در مواردی که میزان تغییرات EC بین ۰/۰۱ – ۵ dS/m باشد.

غلظت کل املاح برحسب (mg / l)

$$TDS(mg/l) = 640 \times EC\ (dS/m) \qquad (۷-۲)$$

غلظت کل کاتیون‌ها برحسب (meq / l)

$$TDS(meq/l) = 10 \times EC\ (dS/m) \qquad (۸-۲)$$

ب – هرگاه میزان EC از dS/m۵ تجاوز کند

$$TDS(mg/l) = 800 \times EC\ (dS/m) \qquad (۹-۲)$$

باید تأکید کرد که این روابط تجربی بوده و ممکن است که برای هر آبی صادق نباشد. به طوریکه آزمایشات زه‌آب‌های شور در قسمتی از اراضی دره سن واکین در کالیفرنیا روابط دیگری را در این مورد نشان می‌دهد (گراتن، ۱۹۹۳)[1].

۱) هرگاه $EC < 5\ dS/m$،

$$TDS(mg/l) = 740 \times EC\ (dS/m) \qquad (۱۰-۲)$$

۲) هرگاه $10 < EC < 5\ dS/m$

$$TDS(mg/l) = 840 \times EC\ (dS/m) \qquad (۱۱-۲)$$

۳) هرگاه $EC > 10\ dS/m$،

$$TDS(mg/l) = 920 \times EC\ (dS/m) \qquad (۱۲-۲)$$

٤) غلظت کل املاح محلول (C) را نیز می‌توان بر حسب mol / l یا meq/l بیان کرد، در این صورت هرگاه مقدار C برحسب mol / l بیان گردد، EC را می‌توان با استفاده از رابطهٔ زیر محاسبه کرد:

$$EC = 0.00156\ C \qquad (۱۳-۲)$$

باید توجه داشت که رابطه فوق برای هدایت الکتریکی با محدوده dS/m ۵ – ۰/۱ کاربرد دارد.

1 -Grattan, 1993

اگر TDS برحسب meq / l مورد نظر باشد رابطه (۲-۱۳) به صورت زیر تغییر می‌کند:

$$TDS = 10 \times EC \qquad (۱۴-۲)$$

در رابطه (۲-۱٤)، TDS مجموع آنیون‌ها یا کاتیون‌ها برحسب میلی اکی والان در لیتر و EC مقدار هدایت الکتریکی بر حسب دسی زیمنس بر متر است.

اثر اسمزی

اثر غلظت یون‌ها در آب یا عصاره اشباع، که از یون‌های موجود در محلول ناشی می‌شود در مجموع به صورت اثر نمک‌های محلول در آب آبیاری در برابر جذب آب توسط ریشه به صورت رقابتی عمل می‌کند. به عبارت دیگر گیاه در شرایط طبیعی برای جذب رطوبت از خاک باید نیروی جاذبه‌ای بیش از نیروی جاذبه خاک برای نگهداری آب که در اثر نیروی کاپیلاریته یا موئینه‌ای به وجود می‌آید، اعمال کند تا قادر به دریافت رطوبت گردد. چنانچه گیاه نتواند با به کارگیری از کلیه تعدیل‌های درونی و صرف انرژی‌های لازم که برای جذب آب از خاک ضروری است، آب مورد نیاز خود را دریافت کند دچار تنش آبی خواهد شد. وجود چنین شرایطی باعث خشکی محیط اطراف ریشه به علت کم آبی و تجمع یون‌های زیاد یا نمک‌های محلول زیاد اطراف ریشه می‌گردد. در صورت وجود نمک‌های محلول در اطراف ریشه گیاه مجبور به اعمال نیروی جاذبه و یا مکش بیشتری است که به اسمز یا پتانسیل اسمزی موسوم است. در عمل اختلاف نیروی مکش در خاک شور (جز اسمزی یا محلول) و خاک غیر شور که گیاه باید برای جذب رطوبت از خاک شور اعمال نماید، پتانسیل اسمزی (OP) نامیده می‌شود. این اختلاف مکش با شوری، بیشتر می‌گردد. به طور تقریبی رابطه بین مقدار EC و پتانسیل اسمزی (OP) برحسب مگا پاسکال (MP) در محدوده بین dS/m ۳۰-۳ به صورت زیر می‌باشد:

$$EC = 2.8\ OP \qquad (۱۵-۲)$$

$$OP = -0.036 \times EC \qquad (۱۶-۲)$$

OP ممکن است با علامت سای (Ψ) که همان نشانه پتانسیل است نشان داده شود. هر گاه رابطه (۲-۱۶) بدون علامت منفی بیان شود مقدار آن مبین فشار اسمزی محلول است.

۲-۲-۱-۲- سدیم و دشواری نفوذ آب در خاک و عملیات خاک‌ورزی[1]

محلول خاک محتوی یون‌های باردار مثبت (کاتیون‌ها نظیر سدیم، کلسیم و منیزیم) و منفی (آنیون‌ها نظیر کلرید، سولفات و بیکربنات) است که در حال تعادل با فاز محلول و فاز تعادلی خاک می‌باشد. منشأ اصلی مشکلات نفوذپذیری و خاک‌ورزی خاک از افزایش یون سدیم و جذب آن توسط رس‌های معدنی سرچشمه می‌گیرد که آن نیز از خصوصیات شیمیایی یون‌های دو ظرفیتی نظیر کلسیم نسبت به یون یک ظرفیتی سدیم در آب خاک است. بدین معنی که چون سطوح رس‌های معدنی موجود درخاک دارای بارمنفی‌اند، کاتیون‌های دوظرفیتی مثل کلسیم با قدرت جاذبه‌ای به مراتب بیشتر نسبت به یون‌های سدیم که یک ظرفیتی است، جذب این سطوح می‌گردند و در عمل موجبات اتصال ذرات رس را به یکدیگر فراهم کرده و باعث افزایش شعاع فضاهای ریز در خلل وفرج خاک و در نهایت نفوذپذیری بیشتر آب و هوا به خاک و نیز سهولت آبشویی می‌گردند. در اصل می‌توان گفت که رس‌های اشباع شده از کلسیم کمتر از رس‌های مشابه از سدیم منبسط می‌شوند. یا به عکس تحت شرایطی به دلیل اینکه ذرات رس با داشتن بار منفی در سطوح جاذبه خود تمایل به جذب سدیم‌های تبادلی و به طبع جذب آب توأم با آنها در مجاورت سطوح دارای بار منفی را دارند، لاجرم با فراهم شدن شرایط برای جذب بیشتر آب، رس‌ها در اثر آبگیری متورم شده و منبسط می‌گردند. این تورم باعث شکستگی و جدا شدن

1-Soil tillage

خاکدانه‌ها و پولکی شدن ذرات خاک شده و در نهایت موجب سهولت در حرکت ذرات رسی می‌گردد. با حرکت ذرات رسی حفره‌های ریز که مسیر عبور آب و هوا است، بسته شده که این امر مانع شستشوی املاح محلول خواهد شد. نتیجه آنکه، تنگتر شدن و کاهش اندازه حفره‌های ریز خاک در نقصان هدایت آبی هم در خاک‌های اشباع و غیر اشباع و نیز کاهش میزان نفوذپذیری تأثیر عمده داشته و منشأ مشکلات نفوذپذیری خاک‌های سدیمی را فراهم می‌کند. به علاوه تحت چنین شرایطی این قبیل خاک‌ها به محض خشک شدن به حالت کلوخه‌ای درآمده و یک لایه سله‌ای سخت رسی در طبقات سطحی خاک به وجود می‌آید. بنابراین نفوذ ناپذیری ناشی از ایجاد سله سطحی، انتشار و انتقال ذرات رس به داخل خلل و فرج ریز ذرات خاک و تورم رس‌های منبسط شونده است. همچنین منحنی رطوبتی این خاک‌ها کاملاً تغییر شکل یافته و در مجموع خصوصیات فیزیکی خاک از نظر نفوذپذیری و خاک‌ورزی دچار مشکل می‌گردد. بنابراین برعکس شوری زیاد که در جذب آب توسط گیاه اختلال ایجاد می‌کند، وجود سدیم زیاد از طریق دشوار کردن نفوذ آب به داخل خاک به طور غیر مستقیم باعث محدود کردن مقدار آب سهل‌الوصول می‌گردد. عموماً افزایش تورم رس‌ها که با نقصان هدایت هیدرولیکی همراه است، با افزایش نسبت جذبی سدیم (SAR)، و با کاهش شوری (هدایت الکتریکیEC) آب آبیاری رابطه مستقیم دارد. ممکن است چنین تصور شود، که با افزایش EC در آب محتوی سدیم، اثر منفی SAR خنثی خواهد شد. اما این تصور نادرستی است زیرا در عمل به علت آنکه در جریان فرآیند خشک شدن، آب موجود در خاک به تدریج تبخیر یافته و بر غلظت نمک‌های محلول در آب خاک افزوده می‌شود که حاصل این عمل به افزایش غلظت میزان سدیم محلول خاک منتهی می‌گردد (یعنی بالا رفتن میزان SAR) در نهایت یعنی هنگامیکه حالت تعادل بر قرار می‌شود، ESP، یعنی درصد غلظت سدیم تعادلی موجود در سطح رس‌ها در برابر مقدار SAR فزونی می‌یابد. عوامل دیگری غیر از میزان ESP و نوع رس‌ها در استحکام ساختمان خاک مؤثرند، نظیر میزان مواد آلی، و سایر خصوصیات خاک‌ورزی.

نسبت جذبی سدیم[1] (SAR)

در مبحث قبل اشاره شد که تمام یون‌های تبادلی متصل به سطح فاز تبادلی خاک (رس‌ها و مواد آلی) در حال تبادل و تعادل با محلول خاک می‌باشند. از این رو آبیاری با آب سدیم‌دار، بر میزان سدیم تبادلی خاک می‌افزاید و مشکلات از همین جا شروع می‌شود. هنگامی که میزان سدیم محلول خاک از ۵۰ درصد نسبت به سایر کاتیون‌ها تجاوزکرد، خاک به سمت فرآیند سدیمی شدن رانده می‌شود که در این صورت نهایتاً بر عملکرد محصول اثر منفی دارد. یعنی بر عکس شوری، اثر زیادی سدیم در خاک، از طریق نقصان رطوبت خاک صدمه نمی‌زد، بلکه آسیب آن در رابطه با تأثیر روی نفوذپذیری آب و هوا در خاک است. بنابراین رشد گیاه به علت مواجه شدن با سهل الوصول نبودن آب متوقف می‌شود تا عدم جذب آب توسط ریشه. وضعیت سدیمی را می‌توان از میزان درصد Na تبادلی خاک یا ESP [2] به صورت رابطه زیر سنجید: (کلیه مقادیر زیر برحسب کاتیون‌های تبادلی می‌باشند).

$$ESP = 100 \times \frac{Na}{Ca + Mg + Na + K} \quad \text{(درصد سدیم تبادلی خاک)} \qquad (۱۷-۲)$$

$$ESR = \frac{Na}{CEC - Na} = 0.0158SAR \quad \text{(نسبت سدیم تبادلی خاک)} \qquad (۱۸-۲)$$

در معادله (۲-۱۷) غلظت برحسب meq/lit می‌باشد. لازم به ذکر است چون در این معادله مقدار K عموماً ناچیز است، قابل صرفنظر کردن است.

برای سهولت اندازه‌گیریESP، ریچاردز و همکاران برای اولین بار در سال ۱۹۵٤، رابطه (۲-۱۹) را پیشنهاد کردند.

---

1 -Sodium Adsorption Ratio(SAR)

2- Exchangeable Sodium Percentage (ESP)

$$ESP = 1.475\ SAR\ (1 + 0.0147\ SAR) \qquad (۱۹-۲)$$

ضرایب ۱/٤۷٥ و ۰/۰۱٤۷ از طریق اعمال هم بستگی خطی توسط گروه مذکور به دست آمده است.

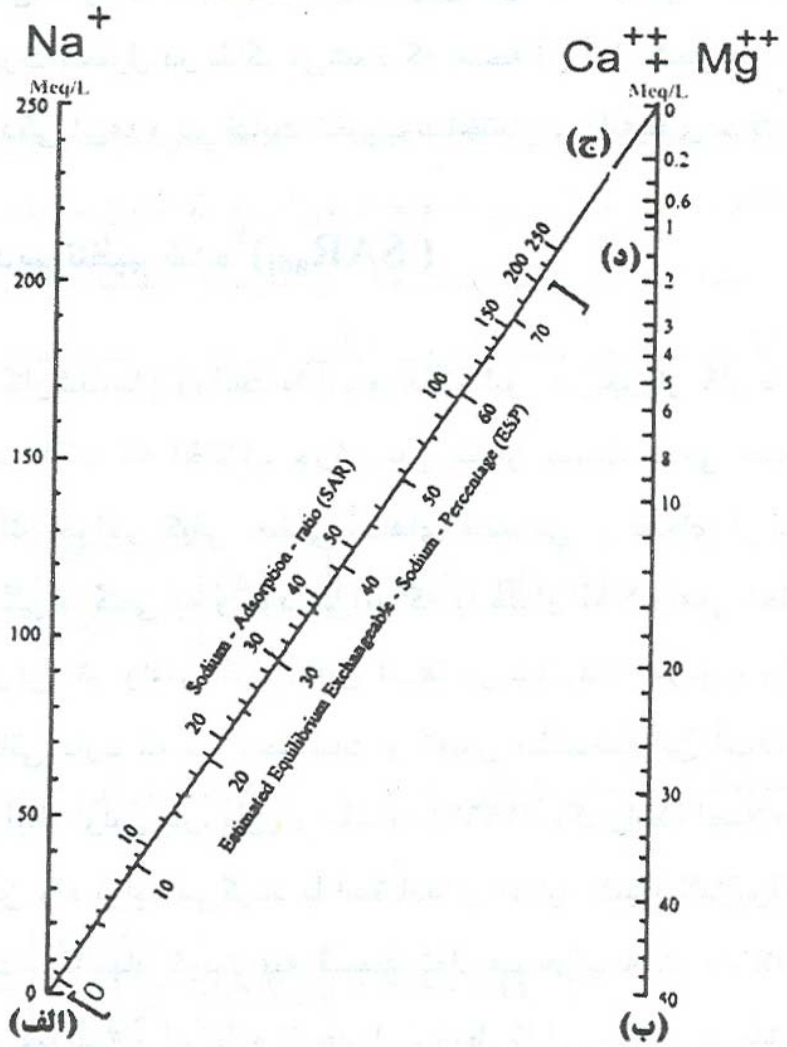
نسبت جذبی سدیم SAR که توسط ریچاردز و همکاران در "دستورالعمل تشخیص خاک‌های شور و سدیمی و اندازه‌گیری خصائص آنها" در سال ۱۹٥٤ ارائه گردید، اکنون نیز اعتبار خود را حفظ کرده و در کلیه بررسی‌های خصوصیات آب و خاک شور به عنوان معیار اصلی کار برد دارد. این مقیاس معرف چگونگی نسبت تعادلی کاتیون‌های یک ظرفیتی به دو ظرفیتی در محلول خاک که با فاز تبادلی در تعادل هستند، می‌باشد. از آنجا که در عمل تعیین دقیق میزان کلسیم و منیزیم تبادلی در حضور کربنات کلسیم و منیزیم خاک‌های محتوی این مواد معدنی کار بس دشوار می‌باشد، از رابطه تعادلی که در بر گیرنده و معرف مقادیر نسبی بین این مقادیر با فاز تبادلی است، یعنی میزان یون‌های Na,Ca,Mg محلول در آب و یا آب خاک استفاده می‌کنند. این نسبت که به نسبت جذبی سدیم یا (SAR) موسوم است به قرار زیر است.

$$SAR = \frac{[Na]}{\sqrt{\frac{[Ca]+[Mg]}{2}}} \qquad (۲۰-۲)$$

در رابطه (۲-۲۰) مقادیر یونی معرف غلظت هر یک از مقادیر سدیم، کلسیم و منیزیم است که بر حسب میلی اکی والان در لیتر محلول خاک و یا آب آبیاری بیان می‌شود.

از روی شکل (۲-۱) و با در دست داشتن مقدار محاسبه شده SAR آب آبیاری می‌توان میزان تقریبی ESP خاک مربوطه را که در حال تعادل با آن آب است تخمین زد و درنتیجه میزان خطر سدیمی شدن اراضی فاریاب زیر کشت را مشخص ساخت. این نمو گرام ارتباط نزدیک بین ESP و SAR را نشان می‌دهد و روشن می‌گردد که در عمل نیز هر چه به مقدار کلسیم و منیزیم آب آبیاری (محور ب در شکل ۲-۱)،

نسبت به میزان سدیم (محور الف)، افزوده گردد، مقدار SAR نقصان می‌یابد که خود مبین اصل عمل آبشویی در بهسازی اراضی شور است.



شکل ۲-۱- نموگرام تخمین میزان SAR آب آبیاری و برآورد میزان ESP خاکی که با آن آب در حال تعادل است محورهای الف، ب، ج و د به ترتیب مقادیر Na^{+} و $Ca^{++}+Mg^{++}$ (برحسب meq/L)، SAR و ESP را نشان می‌دهند.

عامل دیگری نیز در نفوذپذیری مؤثر بوده و بایستی در ارزیابی مورد توجه قرار گیرد. این عامل پایین بودن غلظت کل املاح یا پایین بودن مقدار هدایت الکتریکی (EC_w) آب آبیاری است.

آبیاری با آبی که غلظت کل املاح آن کمتر از حد مجاز (EC<0.2dS/m) باشد، باعث آبشویی املاح خاک و همچنین انتقال کاتیون‌های دو ظرفیتی قابل تبادل سطح ذرات رس به صورت محلول در خاک می‌شود که نتیجه آن آزاد شدن بار منفی سطح ذرات رس و پراکندگی آن‌ها و در نهایت تخریب ساختمان و دانه‌بندی خاک می‌باشد.

نسبت جذبی سدیم تنظیم شده[1] (SAR_{adj})

در دهه ۱۹۶۰ کارشناسان زراعت با آب و خاک شور در جریان کار با محیط‌های شور و سدیمی دریافتند که اختلاف جزئی بین میزان نسبت جذبی سدیم (SAR) محاسبه شده در اثر خواص کیفی بعضی آب‌های مصرفی در عده‌ای از این خاک‌ها، نظیر خاک‌های آهکی و گچی به وجود می‌آید که با مقدارSAR واقعی اختلاف دارد. بنابراین برای معرفی اثر واقعی کیفیت این آب‌ها بر خاک‌های مزبور، رابطه ۲-۲۰ احتیاج به اصلاحاتی دارد که در محاسبات و تعیین مشخصه این آب‌ها، ضروری می‌باشد. در این رابطه اولین بار، باور و ماسلند (۱۹۶۳)[2] یک رابطهٔ اصلاحی را برای رسوباتی که از این راه تولید می‌گردد با استفاده از «نمایه اشباع لانژلیر(SI)» که به RH_c موسوم است، پیشنهاد کردند (به قسمت تعاریف مراجعه شود)، که با به کار بردن «نمایه اشباع لانژلیر» و استفاده از جدول ذیربط، قابل محاسبه می‌باشد.

حدود ۱۰ سال بعد رودز (۱۹۷۲) ضمن بررسی وضعیت آب و خاک‌های مورد آزمایش برای محاسبه (SAR_{adj})، اصلاحاتی انجام داد که اکنون مورد کاربرد

1- Adjusted Sodium Adsorption Ratio (SAR_{adj})

2 -Bower and Massland, 1963

متخصصین این رشته می‌باشد. معادله‌های مزبور عبارت است از دو معادله، که معادلهٔ اول (رابطه ۲-۲۱) برای پیش‌بینی ESP بخش‌های سطحی خاک کاربرد دارد.

$$ESP_s \approx SAR_{iw}(1+8/4-pH_c^*)^2 \qquad (۲۱-۲)$$

معادله دوم برای برآورد میزان ESP قسمت تحت‌الارض خاک مجاور محیط ریشه است که در هنگام و پس از آبیاری به وجود می‌آید و بنابراین معرف SAR سیستم تعادلی محیط ریشه با آب خاک است که در مجموع مشخصهٔ آب زهکشی نیز می‌باشد (SAR_{adj}) و به همین جهت ضریب LF در آن منظور شده است.

$$SAR_{dw} \approx \left[\frac{Y^{(1+2LF)}}{\sqrt{LF}}\right] SAR_{iw}\left[1+(8.4-pH_c^*)\right] \qquad (۲۲-۲)$$

که نظر به سهولت محاسبه به طور اختصار به صورت زیر ارائه می‌گردد.

$$SAR_{dw} = \left[\frac{Y^{(1+2LF)}}{\sqrt{LF}}\right] SAR_{iw}\left[1+8.4-\lambda H_c^*\right] \qquad (۲۳-۲)$$

در معادله‌های (۲-۲۲) و (۲-۲۳) عبارت (8.4 – pHc) اثر آب آبیاری را در تشکیل رسوب یا انحلال کربنات کلسیم (CO_3 Ca)، کربنات منیزیم (CO_3 Mg) و دولومیت منعکس می‌سازد و همان شاخص اشباع است. عبارت "Y" در معادله (۲-۲۲) معرف ضریب تجربی هوازدگی کانی‌های خاک است که بنا به بررسی‌های رودز غالباً می‌توان آن را برابر ۰/۷ در نظر گرفت. رابطه (۲-۲۱) را بدان جهت که با خواص

نفوذپذیری خاک‌های سطحی نتایج بهتری نشان داده است، عموماً می‌توان به جای معادلات مشابه دیگر در بررسی نفوذپذیری خاک‌های سدیمی به کار برد. در نتایج حاصله از معادلات (۲-۲۱) و (۲-۲۲) هرگاه مقدار محاسبه شده عبارت (8.4 – pHc) بزرگتر از صفر باشد، هنگام کاربرد آب آبیاری مورد نظر باید در نظر داشت که ترکیب کربنات کلسیم موجود در سیستم آب و خاک به صورت رسوب در آمده و در محیط خاک را سبب می‌گردد. در غیر این صورت میزان این مواد پایین بوده و بنابراین به صورت محلول خواهد بود.

در عمل برای محاسبه میزان SAR_{adj}، ابتدا مقدار EC_{iw} و غلظت یون‌های محلول سدیم، کلسیم، منیزیم و بیکربنات در آب را بر حسب me/l محاسبه می‌کنند و سپس از جدول (۲-٤) و (۲-٥) مقادیر مربوطه را استخراج کرده و در معادله مزبور قرار می‌دهند.

برای مثال جهت تعیین غلظت کلسیم تبادلی(Ca_*) در رابطه اختصاری

$$SAR_{adj} = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca_x + Mg}{2}}} \qquad (۲٤-۲)$$

مشابه آنچه که در بالا ذکر شد به ترتیب زیر مقدار آن از جدول (۲-٤) برآورد می‌گردد. (غلظت بر حسب meq/ l) برای تعیین Ca_x، ابتدا نسبت $[HCO_3]/[Ca]$ را که از تجزیه آب نتیجه شده است، محاسبه کرده و در ستون سمت راست ردیف مربوط به آن مقدار مشخص می‌شود.

سپس با استفاده از مقدار $[HCO_3]/[Ca]$ و EC_{iw} بر حسب دسی زیمنس بر متر در ردیف بالای جدول مقدار Ca_x با تلاقی عدد مربوط به EC_{iw} و $[HCO_3]/[Ca]$، یعنی محل تلاقی ستون و سطر مربوط، از داخل جدول به دست می‌آید.

جدول ٢-٤- غلظت کلسیم مورد انتظار(Ca_x) در رطوبت خاک پس از آبیاری با آبی با شوریEC_{iw} و نسبت $[HCO_3]$ / [Ca] مشخص (١-٢-٣)

EC_{iw} / $\frac{HCO_3}{Ca}$	٠/١	٠/٢	٠/٣	٠/٥	٠/٧	١	١/٥	٢	٣	۴	۶	٨
٠/٠٥	١٣/٢٠	١٣/٦١	١٣/٩٢	١۴/۴٠	۴٩/٧٩	١٥/٢۶	١٥/٩١	١۶/۴٣	١٧/٢٨	١٧/٩٧	١٩/٠٧	١٩/٩۴
٠/١	٨/٣١	٨/٥٧	٨/٧٧	٩/٠٧	٩/٣١	٩/۶٢	١٠/٠٢	١٠/٣٥	١٠/٨٩	١١/٣٢	١٢/٠١	١٢/٥۶
٠/١٥	۶/٣۴	۶/٥۴	۶/۶٩	۶/٩٢	٧/١١	٧/٣۴	٧/۶٥	٧/٩٠	٨/٣١	٨/۶۴	٩/١٧	٩/٥٨
٠/٢٠	٥/٢۴	٥/۴٠	٥/٥٢	٥/٧١	٥/٥٧	۶/٠۶	۶/٣١	۶/٥٢	۶/٨۶	٧/١٣	٧/٥٧	٧/٩١
٠/٢٥	۴/٥١	۴/۶٥	۴/٧۶	۴/٩٢	٥/٠۶	٥/٢٢	٥/۴۴	٥/۶٢	٥/٩١	۶/١٥	۶/٥٢	۶/٨٢
٠/٣٠	۴/٠٠	۴/١٢	۴/٢١	۴/٣۶	۴/۴٨	۴/۶٢	۴/٨٢	۴/٩٨	٥/٢۴	٥/۴۴	٥/٧٧	۶/٠۴
٠/٣٥	٣/۶١	٣/٧٢	٣/٨٠	٣/٩۴	۴/٠۴	۴/١٧	۴/٣٥	۴/۴٩	۴/٧٢	۴/٩١	٥/٢١	٥/٥۴
٠/۴٠	٣/٣٠	٣/۴٠	٣/۴٨	٣/۶٠	٣/٧٠	٣/٨٢	٣/٩٨	۴/١١	۴/٣٢	۴/۴٩	۴/٧٧	۴/٩٨
٠/۴٥	٣/٠٥	٣/١۴	٣/٢٢	٣/٣٣	٣/۴٢	٣/٥٣	٣/۶٨	٣/٨٠	۴/٠٠	۴/١٥	۴/۴١	۴/۶١
٠/٥٠	٢/٨۴	٢/٩٣	٣/٠٠	٣/١٠	٣/١٩	٣/٢٩	٣/۴٣	٣/٥۴	٣/٧٢	٣/٨٧	۴/١١	۴/٣٠
٠/٧٥	٢/١٧	٢/٢۴	٢/٢٩	٢/٣٧	٢/۴٣	٢/٥١	٢/۶٢	٢/٧٠	٢/٨۴	٢/٩٥	٣/١۴	٣/٢٨
١/٠٠	١/٧٩	١/٨٥	١/٨٩	١/٩۶	١/٠٢	٢/٠٩	٢/١۶	٢/٢٣	٢/٣٥	٢/۴۴	٢/٥٩	٢/٧١
١/٢٥	١/٥۴	١/٥٩	١/۶٣	١/۶٨	١/٧٣	١/٧٨	١/٨۶	١/٩٢	٢/٠٢	٢/١٠	٢/٢٣	٢/٣٣
١/٥٠	١/٣٧	١/۴١	١/۴۴	١/۴٩	١/٥٣	١/٥٨	١/۶٥	١/٧٠	١/٧٩	١/٨۶	١/٩٧	٢/٠٧
١/٧٥	١/٢٣	١/٢٧	١/٣٠	١/٣٥	١/٣٨	١/۴٣	١/۴٩	١/٥۴	١/۶٢	١/۶٨	١/٧٨	١/٨۶
٢/٠٠	١/١٣	١/١۶	١/١٩	١/٢٣	١/٢۶	١/٣١	١/٣۶	١/۴٠	١/۴٨	١/٥۴	١/۶٣	١/٧٠
٢/٢٥	١/٠۴	١/٠٨	١/١٠	١/١۴	١/١٧	١/٢١	١/٢۶	١/٣٠	١/٣٧	١/۴٢	١/٥١	١/٥٨
٢/٥٠	٠/٩٧	١/٠٠	١/٠٢	١/٠۶	١/٠٩	١/١٢	١/١٧	١/٢١	١/٢٧	١/٣٢	١/۴٠	١/۴٧
٣/٠٠	٠/٨٥	٠/٨٩	٠/٩١	٠/٩۴	٠/٩۶	١/٠٠	١/٠۴	١/٠٧	١/١٣	١/١٧	١/٢۴	١/٣٠
٣/٥٠	٠/٧٨	٠/٨٠	٠/٨٢	٠/٨٥	٠/٨٧	٠/٩٠	٠/٩۴	٠/٩٧	١/٠٢	١/٠۶	١/١٢	١/١٧
۴/٠٠	٠/٧١	٠/٧٣	٠/٧٥	٠/٧٨	٠/٨٠	٠/٨٢	٠/٨۶	٠/٨٨	٠/٩٣	٠/٩٧	١/٠٣	١/٠٧
۴/٥٠	٠/۶۶	٠/۶٨	٠/۶٩	٠/٧٢	٠/٧۴	٠/٧۶	٠/٧٩	٠/٨٢	٠/٨۶	٠/٩٠	٠/٩٥	٠/٩٩
٥/٠٠	٠/۶١	٠/۶٣	٠/۶٥	٠/۶٧	٠/۶٩	٠/٧١	٠/٧۴	٠/٧۶	٠/٨٠	٠/٨٣	٠/٨٨	٠/٩٣
٧/٠٠	٠/۴٩	٠/٥٠	٠/٥٢	٠/٥٣	٠/٥٥	٠/٥٧	٠/٥٩	٠/۶١	٠/۶۴	٠/۶٧	٠/٧١	٠/٧۴
١٠/٠٠	٠/٣٩	٠/۴٠	٠/۴١	٠/۴٢	٠/۴٣	٠/۴٥	٠/۴٧	٠/۴٨	٠/٥١	٠/٥٣	٠/٥۶	٠/٥٨
٢٠/٠٠	٠/٢۴	٠/٢٥	٠/٢۶	٠/٢۶	٠/٢٧	٠/٢٨	٠/٢٩	٠/٣٠	٠/٣٢	٠/٣٣	٠/٣٥	٠/٣٧
٣٠/٠٠	٠/١٨	٠/١٩	٠/٢٠	٠/٢٠	٠/٢١	٠/٢١	٠/٢٢	٠/٢٣	٠/٢۴	٠/٢٥	٠/٢٧	٠/٢٨

سپس مقدار Ca_x را در معادله (٢-٢٤) قرار داده و مقدار SAR_{adj} تنظیم شده تعیین می‌گردد. عموماً این مقدار کمی بزرگتر از SAR است. برای مثال نتایج تجزبه شیمیایی آب شوری با ترکیب شیمیایی به شرح زیر است، برآورد میزان نسبت جذبی سدیم تنظیم شده SAR_{adj} بدین قرار است:

جدول ٢-٥- نتایج تجزیه شیمیایی یک نمونه از آب شور*

SAR	Meq / l							g/l نمک	EC dS/m
	Na^+	K^+	Mg^{+2}	Ca^{+2}	HCO_3^-	SO_4^{-2}	Cl^-		
٧/٤	١٧/٦	٠/٦	٦/٧	٩/٠	٢/٦	١٣/٠	١٧/٦	٢/٠	٣/١

١- مقدار نسبت HCO_3 / Ca برابر است با , 2.6 / 9.0 یا 0.75

٢- با داشتن EC_{iW}=3.1 و مقدار نسبت HCO_3/Ca برابر 0.75 از طریق جدول (٢-٤) با تلاقی ستون افقی در بالا (EC_{iW}) و ستون عمودی در سمت چپ (HCO_3/ Ca)، مقدار غلظت کلسیم (Ca_x) مورد انتظار برابر حدود تقریبی ٢/٨٤ meq/l می‌باشد. در این صورت با توجه به میزان Na^+ و Mg^{+2} در جدول (٢-٥) خواهیم داشت:

$$SAR_{adj} = \frac{17.60}{2.84} = \frac{17.60}{2.18} = 8.07 \text{ یا } 8.1$$

با توجه به SAR حاصل از تجزیه شیمیایی آب و بدون اعمال تصحیح، مقدار اختلاف برابر است با:

8.1-7.4=0.7

که مقدار مثبتی است و به نظر می‌رسد که مقداری از Ca^{+2} موجود در آب آبیاری پس از نفوذ به صورت رسوب کربنات کلسیم درآمده است.

محاسبه SAR_{adj} قبلاً نیز توسط باور و ماسلند (١٩٦٣) به طریقه زیر پیشنهاد گردید که کاربرد آن نیز تاکنون متداول می‌باشد. این رابطه را با مختصر تغییری ایرز ووسکات به صورت معادله کمی زیر در آورده‌اند :

$$SAR_{adj} = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}\left[1 + (8.4 - pH_c)\right] \qquad (٢-٢٥)$$

مقادیر Na, Ca, Mg همانند رابطه‌های قبلی برحسب meq/l می‌باشد. pHc با کاربرد جدول (٢-٦) که به میزان غلظت اندازه‌گیری شده از تجزیه آب بستگی دارد، قابل

محاسبه می‌باشد. یعنی ارقام حاصل از جدول فوق، پس از معادل سازی، در معادله pHc زیر جایگزین می‌گردد :

$$pH_c = (PK'_2 - PK'_c) + P[(Ca + Mg)/2] + P(AlK) \qquad (۲۶-۲)$$

جدول‌های محاسبه pHc براساس روابط سه گانه زیر می‌باشد:

$(PK`_2 - PK`_C)$ از مجموع Na + Ca + Mg برحسب meq/l به دست می‌آید.

P (Ca + Mg) از مجموع Ca + Mg برحسب meq/l به دست می‌آید.

P(AIK) از مجموع $CO_3 + HCO`_3$ برحسب meq/l به دست می‌آید.

جدول ۲-۶- مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌های مورد نظر

P(AIK)	P(Ca+Mg)	$(PK`_2-PK`_C)$	کل غلظت (meq/l)
۴ / ۳	۴/۶	۲/۰	۰/۰۵
۴/۰	۴/ ۳	۲/۰	۰/۱۰
۳/۸	۴/ ۱	۲/۰	۰/۱۵
۳/۷	۴/۰	۲/۰	۰/۲۰
۳/۶	۳/۹	۲/۰	۰/۲۵
۳/۵	۳/۸	۲/۰	۰/۳۰
۳/۴	۳/۷	۲/۰	۰/۴۰
۳/۳	۳/۶	۲/ ۱	۰/۵۰
۳/۱	۳/۴	۲/ ۱	۰/۷۵
۳/۰	۳/۳	۲/ ۱	۱/۰۰
۲/۹	۳/۲	۲/ ۱	۱/۲۵
۲/۸	۳/۱	۲/ ۱	۱/۵۰
۲/۷	۳/۰	۲/۲	۲/۰
۲/۶	۲/۹	۲/۲	۲/۵
۲/۵	۲/۸	۲/۲	۳/۰
۲/۴	۲/۷	۲/۲	۴/۰
۲/۳	۲/۶	۲/۲	۵/۰
۲/۲	۲/۵	۲/۲	۶/۰
۲/ ۱	۲/۴	۲/۳	۸/۰
۲/۰	۲/۳	۲/۳	۱۰/۰
۱/۹	۲/۲	۲/۳	۱۲/۵
۱/۸	۲/ ۱	۲/۳	۱۵/۰
۱/۷	۲/۰	۲/۴	۲۰/۰
۱/۵	۱/۸	۲/۴	۳۰/۰
۱/۳	۱/۶	۲/۵	۵۰/۰
۱/۱	۱/۴	۲/۵	۸۰/۰

pH_C نظری بوده و عبارت است از pH محاسبه شده آبیاری که با آهک در تماس بوده و با CO_2 خاک به حال تعادل درآمده است.

مثال برای محاسبه pHc:

فرضیات مسئله (نتایج حاصل از تجزیه آب نمونه):

$$\begin{array}{c} CO_3 = 0.42 meq/l \\ HCO_3 = 3.66 meq/l \\ \hline CO_3 + HCO_3 = 4.08 meq/l \end{array}$$

$$\begin{array}{c} Ca = 2.32 meq/l \\ Mg = 1.44 meq/l \\ Na = 7.73 meq/l \\ \hline Ca + Mg + Na = 11.49 meq/l \end{array}$$

مقدار pHc ازرابطه:

$$pH_c = \left(pK_2^{'} - pK_C^{'}\right) + p(Ca + Mg) + p(Alk)$$

با استفاده از جدول صفحه قبل، به ترتیب زیر قابل محاسبه می‌باشد :

در ستون (۱) از جدول، برابر حاصل جمع غلظت‌های $\overbrace{(Na + Mg + Ca)}^{11.5}$ خواهیم داشت:

$$K_2^{'} - pK_C^{'} = 2.3$$

در ستون (۱) از جدول، به ازاء حاصل جمع غلظت‌های ۳/۸= (Ca+Mg) و مقابل آن برای p(Ca + Mg) مربوطه درستون ۳، خواهیم داشت P(Ca + Mg)=2.7

در ستون (۱) از جدول، به ازاء $(CO_3 + HCO_3) = 4.1$ و مقدار p(Alk) مربوطه آن در ستون ٤، خواهیم داشت:

$$\frac{pAlk = 2.4}{pHc = 7.4}$$

هر گاه به ازاء $pHc = 7.4, Ca + Mg = 3.76, Na = 7.73$ مقدارSAR اصلاح شده محاسبه گردد، خواهیم داشت:

$$SAR_{adj} = \frac{7.73}{\sqrt{\frac{3.76}{2}}}\left[1 + (8.4 - 7.4)\right]$$

و یا

$$SAR_{adj} = 5.64(2.0) = 11.3$$

معادله دیگری که معرف میزان سدیم تبادلی فاز کلوئیدی نسبت به سایر کاتیون‌های تبادلی است (ESR)[1] به طریق زیر قابل محاسبه می‌باشد.

$$ESR == \frac{ExNa^{+}}{CEC - ExNa^{+}} \qquad (۲۷-۲)$$

در رابطه فوق، ESR، $ExNa^{+}$، و CEC به ترتیب نسبت سدیم تبادلی خاک، سدیم تبادلی، و ظرفیت تبادل کاتیونی است. کلیه مقادیر برحسب میلی‌اکی‌والان در یکصد گرم خاک خشک محاسبه می‌گردد.

هر گاه میزان ظرفیت تبادل کاتیونی برابر ۱۰۰ فرض شود معادلهٔ ذیل را می‌توان نوشت:

$$ESR=KSAR \qquad (۲۸-۲)$$

K، ضریب انتخابی و تبدیل شده گاپن است که مقدار آن برای اکثر خاک‌ها بین ۰/۰۱۲-۰/۰۱۵ می‌باشد.

1- Eexchangeable Sodium Ratio (ESR)

بیکربنات

اثر بیکربنات در آب آبیاری شباهت زیادی به اثر سدیم دارد با این تفاوت که کلسیم و گاهی منیزیم خاک به شکل رسوب کربنات از محلول خاک خارج شده و در نتیجه میزان سدیمی که در عمل تبادل با کلسیم و منیزیم تبادلی در روی ذرات فعال خاک قرار دارند، افزایش می‌یابد. هرچه بر میزان تبخیر و تعرق آب، واکنش خاک و درجه حرارت هوا و خاک افزوده شود مقدار رسوب کربنات کلسیم افزایش می‌یابد و برعکس آزاد شدن کربنات از طریق ریشه نباتات و فساد مواد آلی موجود در خاک از تشکیل رسوب کربنات کلسیم جلوگیری می‌کند.

ایتون ضمن تحقیقات بر روی آب رودخانه نیل به اهمیت و تأثیر کربنات‌ها و بیکربنات‌ها در تولید خاک‌های قلیایی پی برد و نتیجه کار خود را تحت عنوان کربنات سدیم باقی مانده[1] پیشنهاد نمود از نظر او "کربنات سدیم باقی مانده" برابر است با

$$RSC= (CO_3^{-2} + HCO_3^{-}) - (Ca^{+2} + Mg^{+2}) \qquad (۲۹-۲)$$

که غلظت یون‌ها در رابطه بالا برحسب میلی اکی والان در لیتر می‌باشد.

نظریه ایتون[2] بعدها مورد مطالعه باور و همکاران[3] قرار گرفت. اخیراً دانشمندان آب‌ها را از نظرکربنات سدیم باقیمانده به سه دسته تقسیم کرده‌اند.

اول آب‌هائی که کربنات سدیم باقی مانده آنها از meq/l ۲/۵ بیشتر است و این دسته از نظر کشاورزی مردود شناخته می‌شوند. دسته دوم آنهایی که بین ۲/۵ – ۱/۲۵ میلی اکی والان در لیتر می‌باشند این دسته ممکن است مورد استفاده

1- Residual Sodium Carbonate
2- Eaton, 1950
3- Bower et al., 1963

قرار گیرند. دسته سوم که جزء گروه مجاز هستند محتوی کربنات سدیم باقیمانده کمتر از ۱/۲۵ میلی اکی والان در لیتر می‌باشند.

آب‌های کم شور سدیمی

عامل دیگری که بایستی در ارزیابی خواص کیفی آب مورد توجه قرار گیرد، در مورد آب‌های کم شور یعنی آب با مقدار کم غلظت کل املاح، و یا مقدار هدایت الکتریکی پایین (EC_w) آب آبیاری است. آبیاری با آبی که در آن غلظت کل املاح کمتر از حد مجاز ($EC< 0.2$ dS/m) باشد، باعث شسته شدن املاح خاک و همچنین جانشینیNa به جای کاتیون‌های دو ظرفیتی قابل تبادل در سطح ذرات رس در خاک می‌شود. که نتیجه آن هدر رفتن این کاتیون‌ها از فاز تبادلی خاک و لاجرم آزاد شدن بار منفی سطح ذرات رس برای جذب مولکول‌های آب وسرانجام پراکندگی ذرات خاک و در نهایت تخریب ساختمان و دانه‌بندی خاک است در اینجا استانداردهای استفاده شده توسط سازمان خواربار جهانی FAO برای ارزیابی کیفی آب آبیاری از نقطه نظر شوری، مسمومیت Cl, Na و اثر تخریبی روی ساختمان بر اساس جدول شماره (۲-۷) مورد استفاده قرار گرفته است. این جدول استانداردهای آب آبیاری را برای گیاهان حساس به شوری و مسمومیت نشان می‌دهد. گیاهان مقاوم محدودهٔ بحرانی بالایی را تحمل می‌نمایند و برای ارزیابی آنها این جدول کاربرد ندارد جدول استاندارد شماره (۲-۷) خصوصیات کیفی آب آبیاری را به سه محدوده: بدون مشکل، با مشکل کم و متوسط، مشکل شدید، تقسیم بندی می‌کند. در این جدول اثر شوری به وسیله هدایت الکتریکی یا کل املاح محلول، اثر تخریبی آب روی ساختمان خاک توسط SAR_{adj} و EC_{iw} و اثرمسمومیت Cl برحسب غلظت آن به meq/l و اثر مسومیت سدیم با SAR_{iw} مورد ارزیابی می‌باشد.

جدول ۲-۷- راهنمای کیفیت آب آبیاری

معیارهای کیفی آب	واحدها	درجه بهره‌برداری برای آبیاری		
		خوب	متوسط	نامناسب
الف- شوری				
EC_W	ds/m	<۰/۷	۰/۷-۳	>۳
TDS	mg/l	<٤٥۰	٤٥۰-۲۰۰۰	>۲۰۰۰
ب- نفوذپذیری				
در حالتی که SAR=۰-۳ و مقدار EC_w	ds/m	>۰/۷	۰/۷-۰/۲	<۰/۲
در حالتی که SAR=۳-٦ و مقدار EC_w	ds/m	>۱/۲	۱/۲-۰/۳	<۰/۳
در حالتی که SAR=٦-۱۲ و مقدار EC_w	ds/m	>۱/۹	۱/۹-۰/۵	<۰/۵
در حالتی که SAR=۱۲-۲۰ و مقدار EC_w	ds/m	>۲/۹	۲/۹-۱/۳	<۱/۳
در حالتی که SAR=۲۰-٤۰ و مقدار Ec_w	ds/m	>۵	۵-۲/۹	<۲/۹
ج- سمیت یون‌های ویژه				
سدیم (Na)				
آبیاری سطحی	SAR	<۳	۳-۹	>۹
آبیاری بارانی	me/l	<۳	>۳	
کلرید (Cl)				
آبیاری سطحی	me/l	<٤	٤-۱۰	>۱۰
آبیاری بارانی	me/l	<۳	>۳	
بر (B)	mg/l	<۰/۷	۰/۷-۳	>۳/۰
عناصر کمیاب (جدول ۲-۹)				
د- اثرات متفرقه				
نیتروژن (NO_3-N)	mg/l	<۵	۵-۳۰	>۳۰
بیکربنات (HCO_3)	me/l	<۱/۵	۱/۵-۸/۵	>۸/۵
(PH)		محدوده نرمال بین ٦/۵-۸/٤		

جدول ۲-۸- جدول استاندارد ارزیابی کیفیت آب آبیاری برای گیاهان حساس اقتباس شده از نشریه آبیاری زهکشی FAO

واحد پارامترهای مورد ارزیابی			شدت محدودیت مورد انتظار در صورت مصرف		
			بدون محدودیت	متوسط یا کم	شدید
شوری	Ew	dS/m	<۰/۷	۰/۷-۳/۰	>۳
				Ew	
		AdjRNa=۰-۳	>۰/۷	۰/۷-۰/۲	<۰/۲
		AdjRNa=۳-۶	>۱/۲	۱/۲-۰/۳	<۰/۳
		AdjRNa=۶-۱۲	>۱/۹	۱/۹-۰/۵	<۰/۵
		AdjRNa=۱۲-۲۰	>۲/۹	۲/۹-۱/۳	<۱/۳
		AdjRNa=۲۰-۴۰	>۵/۰	۵/۰-۲/۹	<۲/۹
اثر سمیت برای گیاه سدیم		روش آ بیاری سطحی	(SAR)<۳	۳-۹	>۹
		روش آ بیاری بارانی	(meq/lit)<۳	>۳	
کلر		روش آبیاری سطحی	(meq/lit)<۴	۴-۱۰	>۱۰
		روش آبیاری بارانی	(meq/lit)<۳	>۳	

۲-۲-۱-۳- اختلالات تغذیه‌ای

اثرات شوری و سدیمی آب آبیاری که اختلالاتی در تغذیه گیاه ایجاد می‌کنند، در نهایت قادرند مانع رشد طبیعی محصولات زراعی گردند. چون بعضی از گیاهان از نظر عناصر مورد لزوم، اختلافاتی نسبت به قابلیت جذب بعضی از عناصر غذایی، نشان می‌دهند، به همین جهت عناصری که از طریق آب آبیاری محتوی این مواد، درسیستم تغذیه‌ای راه پیدا می‌کنند، در مختل کردن تغذیه آن گیاهان، تأثیر به سزایی دارند. از آنجایی که این مبحث خود فصل جداگانه‌ای را می‌طلبد، در اینجا تنها به اشاره‌ای اکتفا می‌شود.

به طور عموم کاتیون‌های پر مصرف عمده‌ای که در تغذیه گیاه شرکت دارند در درجه اول N و P و سپس از نظر مقدار مصرف کاتیون‌ها به ترتیب عبارتند از: Ca, Mg, K و S. عناصر کم مصرف به ترتیب غلظت در گیاه عبارتند از Cu, Zn, Mn, Fe, B, Cl و Mo.

البته گیاهان از نظر جذب کاتیون‌های پرمصرف طیف وسیعی را نشان می‌دهند. بعضی گیاهان عناصری را که در ردیف عناصر تغذیه‌ای اصلی هم نیست، نظیر Na، تا حد زیادی جذب می‌کنند. از نظر میزان جذب، مثلاً غلظت Ca، در محلول خاک عموماً در محدوده کم تغییر می‌کند و از 0.7 mmol/l تا 1.5 mmol/l متغیر است. این مقدار تغییرات در ارتباط با وجود بعضی یون‌های دیگر نظیر Mg است که در میزان جذب Ca نقش مهمی را ایفا می‌کند.

از آنجاییکه نسبت Mg / Ca از عوامل تعیین کننده میزان جذب Ca است، بنابراین بهتر است که در تعیین میزان این کاتیون پر مصرف گیاهی و نسبت‌های مرتبط به آن بیشتر توجه شود. بدین ترتیب که هرگاه نسبت Mg / Ca در محلول خاک در حد بالا باشد، با وجود غلظت نسبتاً بالای Ca، آثار کمبود ممکن است در گیاه ظاهر شود. به نقل از پرت و سوارز[1] (۱۹۹۰)، کارتر و همکاران (۱۹۷۹) گزارش کردند در بعضی گیاهان نظیر جو هرگاه نسبت Mg / Ca از ۱/. هم کمتر شود، این گیاه، مستقل از شوری و غلظت Ca محلول خاک، نقصان رشد خواهد داشت. عموماً گیاه در شرایطی که pH خاک پایین باشد به میزان Ca بیشتری احتیاج دارد تا درpH در حد بالا.

عموماً آب‌های آبیاری محتوی Mg, K به مقداری که احتیاجات تغذیه‌ای گیاه را بر طرف نماید، می‌باشند.

گرچه آب‌ها محتوی مقدار کافی از کاتیون‌هایی: نظیر Fe, Mn, Zn, Cu نمی‌باشند، لیکن عموماً این کاتیون‌ها که جزو عناصر کم مصرف گیاهی هستند به مقدار کافی در خاک در شرایط عادی یافت می‌شوند و از این طریق در تغذیه گیاهی تأمین می‌گردد. بدیهی است در شرایط غیر عادی نظیر مواردی که pH خاک بالا است، عموماً کمبود تعدادی از عناصر کم مصرف را می‌توان انتظار داشت. به عکس هرگاه عناصر غیر ضروری گیاه نظیر Na از حد نرمال تجاوز کند، آثار سمیت آن به ویژه در گیاهان حساس نظیر مرکبات و میوه های هسته دار ظاهر می‌گردد. در مجموع پرت و سوارز (۱۹۹۰) در مورد اثر آنیون‌ها چنین گزارش کرده‌اند:

1- Pratt, and Suares, 1990

گرچه مشکلات تغذیه‌ای از نوع تعادل یونی درباره آنیون‌های مورد لزوم گیاه گزارش نشده است، لیکن وجود آثار سمیت ویژه آنها در گیاهان به چشم می‌خورد. مثلاً با آنکه اکثر گیاهان، غلظت بالای Cl را تحمل می‌کنند ولی گیاهان خانواده درختان خشبی و پایه‌های انواع مو نسبت به آن حساسیت نشان می‌دهند. همچنین مصرف آب‌های آبیاری با Na زیاد که عموماً با شوری توأم است، برای غالب گیاهان زراعی مناسب نمی‌باشد. از موارد دیگر میزان ازت موجود در بافت گیاهی است که با آنکه این عنصر از عناصر تغذیه‌ای اصلی نباتی بوده و بر حسب ماده خشک مقدار آن ۲ تا ۵ درصد از N بسته به نوع، دوره رشد، اندام مورد استفاده و هدف نهایی از کاشت گیاه، تغییر می‌کند، لیکن مصرف بیش از اندازه آن در غلات موجب خوابیدن یا ورس این محصول می‌گردد. همچنین در گیاه چچم موجب نقصان کربوهیدرات‌ها و افزایش سلولز می‌گردد. مقدار آن نیز در گیاهان علوفه‌ای دیگر هرگاه از میزان ۱ تا ۲ درصد تجاوز کند، در حیواناتی که از این علوفه تغذیه می‌کنند ایجاد مسمومیت می‌کند.

غلظت بالای NO_3 به جهت افزایش بیش از حد رشد سبزینه‌ای نظیر رشد برگ‌ها و شاخه‌ها به ضرر تولید میوه و برداشت دانه تأثیر سوء دارد. همچنین زیادی N در نقصان عملکرد محصول و نیز کاهش میزان قند و افزایش ناخالصی در ارقام چغندر قند مؤثر است. در این رابطه پرت و سوارز (۱۹۹۰) به نقل از ایروزو وسکات گزارش کرده‌اند که چنانچه محصول دچار دوره بی‌آبی گردد به علت افزایش غلظت NO_3 - N در شیره گیاهی میزان این ماده ممکن است به ۵ mg/l تا ۳۰ mg/l ازدیاد یابد.

۲-۲-۱-۴- یون‌های سمی

آب یکی ازحلال‌های بسیارقوی است که محتوی انواع یون‌ها به مقادیر مختلف می‌باشد. از آنجاکه گیاهان نسبت به کم و یا زیادی بعضی یون‌ها نسبت به برخی دیگر، حساسیت بیشتری نشان می‌دهند از اینرو در مواردی که یون‌های سمی در محیط ریشه از حد معمول تجاوز نماید آثار سمیت را می‌توان از کاهش عملکرد محصول تشخیص داد. لیکن در این ارتباط بعضی از گیاهان نسبت به عده‌ای دیگر حساس‌تر خواهند بود و در هر نوع نیز طیف از مقدار کم تا مقدار زیاد به چشم

می‌خورد. مثلاً گیاهان دایمی نظیر درختان نسبت به سایر گیاهان از درجه حساسیت کمتری برخوردار می‌باشند. گیاهان یکساله عموماً آثارمسمومیت را در حد غلظت کمتر از درختان دایمی نشان می‌دهند.

البته واکنش نسبت به سمیت یون‌های مشخص نظیر بر، کلرید و سدیم در تمام محصولات زراعی به چشم می‌خورد و هرگاه میزان آنها در آب آبیاری که جذب ریشه می‌شود زیاد باشد در نهایت باعث مرگ گیاه می‌شود.

با آنکه واکنش گیاهان نسبت به عناصر بر، کلرید و سدیم یکسان نیست لیکن در غالب گیاهان درختی، چوبی و به علت تراکم تدریجی یون سمی در بافت گیاه، در نهایت منجر به خشک شدن گیاه می‌شود. موضوع قابل توجه دیگر، اثرات توأمان یون سمی و شوری و نفوذپذیری کم در نقصان محصول می‌باشد.

در شرایط اقلیمی که میزان تبخیر به مراتب از نزولات بیشتر است، با گذشت زمان یون‌هائی نظیر کلرید و سدیم در سطح‌الارض تراکم یافته و باعث کاهش عملکرد می‌شود. آثار سمیت را در اندام هوایی گیاه ابتدا از سوختگی اطراف برگ‌ها و کلروز میان رگبرگ‌ها می‌توان تشخیص داد. به طور کلی عواملی نظیر مدت جذب یون توسط ریشه، غلظت آن، درجه حساسیت گیاه، میزان و مدت آبیاری، میزان تبخیر و تعرق و بعضی عوامل دیگر در بروز آثار سمیت مؤثر می‌باشد. نسبت به اثر بعضی یون‌های دیگر در بخش اثر عناصر کمیاب و سنگین نیز اشاره شده است.

یون‌های بر (B)، کلرید (Cl) و سدیم (Na)

از یون‌های سمی مهم بر، کلرید و سدیم را می‌توان نام برد. در عمل هرگاه پیش‌بینی شود که غلظت این یون‌ها در آب مصرفی زیاد است و چنانچه تجزیه برگی و نیز آثار سمی یون‌های مزبور در اندام‌های هوائی گیاه بروز نماید، همگی این علائم حاکی از اثرات سمی در گیاهان است که در این صورت لازم است غلظت این یون‌ها در آب، خاک و گیاه تعیین و نسبت به کم و کیف آن کنترل لازم به عمل آید. از آنجا که واکنش نسبت به سمیت این یون‌ها در تمام محصولات به یک اندازه نمی‌باشد،

هرگاه میزان آنها در آب آبیاری که جذب ریشه می‌شود زیاد باشد، در نهایت باعث مرگ گیاه می‌گردد.

واکنش گیاهان نسبت به این عناصر یکسان نیست بلکه اکثر گیاهان درختی، چوبی و چند ساله از خود حساسیت بیشتری نشان می‌دهند. در عین حال مسائل مسمومیت تقریباً در هر گیاهی که غلظت این عناصر در آزمایش بیش از حد مجاز باشد پیش خواهد آمد. نظر به اینکه یون‌های سدیم و کلرید از طریق برگ نیز جذب می‌شوند بنابراین امکان بروز مسائل خاص سمیت از طریق آبیاری بارانی نیز وجود دارد که در بخش مربوطه شرح داده شده است. در مورد سطوح مربوط به بر، کلرید و سدیم نسبت به محصولات زراعی به تفصیل در بخش مدیریت بحث خواهد شد و فقط در اینجا به اختصار اشاره می‌شود.

بر: بر یکی از عناصر اصلی رشد گیاه است ولی به میزان نسبتاً کم مورد نیاز گیاه می‌باشد ولی بالقوه قادر به ایجاد سمیت در گیاه می‌باشد. مثلاً گیاهان حساس به بر تا سطوح ۱ میلیگرم در لیتر آب آبیاری را تحمل می‌کنند لیکن هرگاه میزان این عنصر زیاد باشد در گیاه ایجاد مسمومیت می‌کند. مسئله مسمومیت بر معمولاً به غلظت این عنصر در آب آبیاری بستگی دارد. عموماً آب‌های سطحی محتوی غلظت‌های بالائی از بر نیستند لیکن بعضی چاه‌ها در مناطق خشک دارای غلظت زیاد بر می‌باشند که در این صورت مسمومیت بر در گیاه مربوطه به چشم می‌خورد. این عنصر به محض آنکه در گیاه جذب شد حالت تراکمی داشته و در آن جمع می‌گردد و مسمومیت ایجاد می‌کند آثار کمبود بر در گیاهان در محدوده میکروگرم در لیتر و آثار سمیت آن در محدوده چند میلیگرم در لیتر است. گیاه نسبت به بر موجود در محلول خاک بیشتر واکنش نشان می‌دهد تا به بر جذب شده در سطح فاز کلوئیدی خاک و از این رو برای تعیین آستانه سمیت بر در گیاهان از آب کشت و محیط و بستر شن می‌توان استفاده نمود.

به نقل از پرت و سوارز (۱۹۹۰)[1] بررسی‌های بنگام (۱۹۸٤)[2] و فرانکوایس (۱۹۸۵)[3] نشان می‌دهد که عملکرد محصولات کشاورزی در رابطه با میزان سمیت بر از معادله دو متغیری مشابه مدلی که ماس و هافمن (۱۹۷۷)[4] پیشنهاد کرده‌اند به شرح زیر تبعیت می‌کند:

$$Y = 100 - M(X - A) \qquad (۳۰-۲)$$

در این مدل، Y= معرف عملکرد نسبی، M =کاهش عملکرد به ازاء افزایش هر واحد غلظت بر، A= حداکثر غلظت مجاز بر که باعث نقصان عملکرد نمی‌شود (آستانه)، X = غلظت بر در محیط غذائی محصول خاک یا شن کشت[5].

بررسی‌های سال‌های دهه هشتاد از قرن گذشته نشان می‌دهد که بر خلاف تصور گذشته، محصولات زراعی را نسبت به بر نمی‌توان از آثار و علائم ظاهری گیاه تشخیص داد (فرانکوایس ۱۹۸٤)، بلکه کاهش محصول ناشی از سمیت بر تابعی است از: درجه مقاومت گیاه نسبت به غلظت بر در محلول خاک (Bs)، غلظت بر در آب آبیاری (B_{iw})، حد آبشوئی (LF) و درجه اختلافی که از میزان نسبی بر تبادلی و بر موجود در محلول خاک (Bs) از حالت نرمال به وجود می‌آید.

کلرید: بیشترین مسمومیتی که از آب آبیاری ایجاد می‌شود، ناشی از یون کلرید در آب می‌باشد. یون کلرید در سطح ذرات خاک جذب نمی‌شود بلکه با رطوبت خاک منتقل شده و پس از جذب از طریق ریشه مانند سدیم، دربرگ‌ها تجمع می‌یابد. بیشتر گیاهان درختی و چند ساله و سایر گیاهان در برابر غلظت‌های کم حساس بوده و حال آنکه معمولاً اغلب گیاهان یک ساله دارای چنین حساسیتی نمی‌باشند. عموماً میزان آن هرگاه از ۲۰ تا٤۰ میلیگرم در لیتر تجاوز کند در گیاهان حساس مسمومیت ایجاد می‌کند. حال آنکه علائم مسمومیت کلرید از نوک برگ به صورت سوختگی

1 -Pratt and Suarez, 1990
2 -Bingham, 1984
3 -Francois, 1985
4 -Maas and Hoffman, 1977
5 -Sand culture

حاشیه شروع و به تدریج به سایر نقاط سرایت می‌کند. در مرحله تکامل سوختگی برگ، ریزش زود رس برگ‌ها و بی برگی پیش می‌آید.

سدیم: در اثر آبیاری با آب محتوی سدیم اغلب گیاهان درختی و چند ساله خشبی حتی به غلظت های کم سدیم حساسیت نشان می‌دهند. گیاهان یک ساله، به این اندازه آسیب پذیر نبوده و احتمالاً در برابر غلظت‌های بالاتر آسیب پذیر خواهند بود. سدیم همراه با آب، جذب گیاه شده و زمانی که آب در اثر تعرق از برگ‌ها خارج می‌شود، بر غلظت سدیم موجود در برگ افزوده خواهد شد. سوختگی برگ و ایجاد بافت‌های مرده در حاشیه برگ از علائم بارز مسمومیت سدیم به شمار می‌آیند. در صورت وجود کلسیم شدت سمیت ناشی از سدیم تعدیل می‌شود. یعنی از درجه سمیت ناشی از سدیم کاسته و یون کلسیم احتمالاً از بروز مسئله جلوگیری خواهد کرد. نظر به اینکه اثر سدیم هم به میزان سدیم و نیز به میزان کلسیم بستگی دارد لذا در مسئله ارزیابی سمیت بالقوه از نسبت جذبی سدیم (SAR) برای آب خاک و از نسبت جذبی سدیم تنظیم شده (SAR_{adj}) برای آب آبیاری استفاده می‌شود.

۲-۲-۱-۵- عناصر کمیاب و سنگین

تعدادی از عناصر وجود دارند که در موارد جزئی و اغلب کمتر از چند میلیگرم در لیتر در آب‌های شور وجود دارند که به اصطلاح عناصر کمیاب خوانده می‌شوند. این عناصر در تجزیه شیمیایی آب‌های آبیاری معمولی ناچیز و قابل اغماض هستند. لیکن هر گاه میزان این عناصر کمیاب و سنگین در آب آبیاری و آب‌های سطحی زیرزمینی از حد مجاز بالاتر رود برای محصولات کشاورزی و انسان و دام به علت ایجاد مسمومیت خطرآفرین خواهد بود. عموماً عناصر جزئی از سه راه عمل می‌کنند:

۱- عناصر جزئی در اثر تراکم تدریجی، گیاهان را دچار مسمومیت می‌کنند.
۲- عناصر جزئی به مقدار زیاد که در نسوج گیاهی تراکم یافته‌اند پس از مصرف آنها توسط انسان یا دام ایجاد مسمومیت می‌کنند.
۳- عنصر موجود در آب آبیاری از طریق نفوذ به منطقه ریشه و پیوستن به آب زیرزمینی ممکن است از طریق زه‌آب‌ها و یا پمپاژ به آب سطحی برسند و در

این صورت از نظر اثراتی که روی حیات وحش و یا مصرف آب آشامیدنی در بهداشت انسان‌ها دارد، خطر ناک می‌باشد. غلظت این عناصر ممکن است در آب‌های شور به حد بالائی برسد.

لیکن در اینجا در ارتباط با مصرف آب‌های شور اشاره می‌شود، با آنکه ظرفیت جذب خاک برای این عناصر بالا است در عین حال باید آب آبیاری از جهات فوق مورد بررسی قرار بگیرد. این بررسی به خصوص در مواقعی که آب مصرفی از منابع آلوده کننده می‌گذرد بسیار حائز اهمیت می‌باشد و باید با مقادیر مجاز این عناصر که حد ماکزیمم آنها در آب آبیاری در جدول (۲-۹) نشان داده شده است مقایسه کرد.

توجه شود که سمیت این عناصر برای یک حالت خاص با یک مدیریت آبیاری ویژه در مزرعه تنظیم شده است. غالباً طی آبیاری‌های مکرر میزان تراکم و تجمع در خاک و در نهایت گیاه در دراز مدت فزونی یافته و حتماً برای افرادی که از محصولات مربوطه تغذیه می‌کنند خطرآفرین می‌باشد و در این صورت برای سلامتی چرخه‌ای گیاه- دام- انسان مضرخواهند بود. تجمع این املاح مبین آن است که مدیریت اعمال شده بدون توجه و بدون در نظر گرفتن نکات تخصصی و فنی مربوط به مصرف این قبیل آب‌ها انجام یافته است. نکته دیگری را که جدول (۲-۹) منعکس می‌سازد آن است که هرگاه غلظت عنصر مندرج در جدول از محدوده ذکر شده تجاوز نکند، خاک و گیاهان معمولاً به آن واکنش نشان نمی‌دهند و بنابراین با رعایت احتیاط‌های لازم می‌توان از آب آبیاری مربوطه بهره‌برداری نمود.

گرچه وجود بعضی عناصر کم مصرف در آب آبیاری به کار تغذیه عناصر معدنی می‌آید لیکن مقدار بیش از حد ضروری آن عناصر به گیاه صدمه می‌زند. پرت و سوارز (۱۹۹۰) به دو حد سمیت در مورد ۱۵ عنصر جزئی (ارسنیک- منگنز- مولیبدن- نیکل- سلنیم- وانادیم - روی- برلیم- کادمیوم- کرومیم- کبالت- مس- فلورین- سرب و لیتیم) که برای گیاه سمیت ایجاد می‌کنند، اشاره کرده‌اند.

جدول ۲-۹- حداکثر غلظت‌های مجاز عناصر کمیاب در آب آبیاری $\left(\frac{mg}{L}\right)$

عنصر	حداکثر غلظت توصیه شده		ملاحظات
	درکلیه خاک‌ها	در خاک‌های سبک به مدت ۲۰ سال	
آلومینیم (Al)	۰/۵	۲۰/۰	می‌تواند در خاک‌های اسیدی pH <5.5 موجب عدم حاصلخیزی گردد اما بیشتر خاک‌های قلیائی در pH >7 قادرند این یون را رسوب کنند.
ارسنیک (As)	۰/۱	۲/۰	حد مسمومیت آن برای گیاهان مختلف فرق می‌کند. ۱۲ mg/l برای سودان تا کمتر از ۰/۰۵ mg/l برای برنج متغیر است.
بریلیم (Be)	۰/۱	۰/۵۰	حد مسمومیت آن برای گیاهان مختلف فرق می‌کند. مثلاً از ۵ mg/l برای نوعی کلم تا ۰/۵ mg/l برای نوعی لوبیا متغیر است.
کادمیوم (Cd)	۰/۰۱	۰/۰۵	معمولاً به عنوان یک عنصر ضروری برای گیاه در نظر گرفته نمی‌شود به دلیل فقدان اطلاعات در زمینه سمیت آن برای گیاهان مقادیر محافظه کارانه ای از آن در آبیاری توصیه شده است.
کبالت (Co)	۰/۰۵	۵/۰	درغلظت ۰/۱ mg/l در محلول غذائی برای گوجه فرنگی مسموم کننده است. توسط خاک‌های قلیائی و خنثی تمایل به غیر فعال شدن پیدا می‌کند.
کروم (Cr)	۰/۱	۱/۰	معمولاً به عنوان یک عنصر ضروری برای گیاه در نظر گرفته نمی‌شود به دلیل فقدان اطلاعات در زمینه سمیت ان برای گیاهان مقادیر محافظه کارانه ای از آن در آبیاری توصیه شده است.
مس(Cu)	۰/۲	۵/۰	درغلظت ۰/۱ mg/l تا۱ در محلولهای غذائی برای تعدادی از گیاهان مسموم کننده است.
فلور (F)	۱/۰	۱۵/۰	توسط خاک‌های قلیائی و خنثی غیر فعال می‌شود.
آهن (Fe)	۵/۰	۲۰	برای گیاهانی که در خاک‌های با هوای کافی کاشته می‌شوند مسموم کننده نیست اما می‌تواند به اسیدی شدن خاک و عدم دسترسی بودن گیاه به فسفر و مولیبدن کمک کند. در اثر آبیاری بارانی ممکن است لکه های زشتی روی گیاهان و وسائل و ساختمان بگذارد.
لیتیوم (Li)	۲/۵	–	تاسقف ۵ mg/l توسط گیاهان قابل تحمل است و قابلیت حرکت در خاک را دارد. در غلظت‌های پایین برای مرکبات، سمی است. کمتر از ۰/۷۵ mg/l این عنصر شبیه بر عمل می‌کند.
منگنز (Mn)	۰/۲	۱۰	در غلظت‌های کم، حدود چند دهم mg/l برای تعدادی از گیاهان مسموم کننده است، اما معمولاً فقط در خاک‌های اسیدی اینطور است.
مولیبدن (Mo)	۰/۰۱	۰/۰۵	در غلظت‌های طبیعی که در آب و خاک موجود است برای گیاهان مسموم کننده نیست. برای دامهایی که علوفه کاشته شده در زمین‌هائی که دارای مولیبدن قابل دسترس هستند، مصرف می‌کنند، می‌تواند مسموم کننده باشد. ۰/۰۵ در خاک‌های اسیدی است.
نیکل (Ni)	۰/۲	۲/۰	در غلظت‌های ۰/۵ mg/l تا ۱ برای بعضی از گیاهان مسموم کننده است. سمیت آنها در pH قلیائی و خنثی کاهش پیدا می‌کند.
سرب (Pb)	۵/۰	۱۰	در غلظت‌های خیلی زیاد می‌تواند مانع از رشد معمولی گیاه می‌شود.
سلنیوم (Se)	۰/۰۲	۰/۰۲	در غلظت های پایین حدود ۰/۰۲۵ mg/l برای گیاهان مسموم کننده است و برای دامها اگر علوفه‌ای کاشته شده در خاک‌هایی با میزان Se بالا را مصرف کنند، مسموم کننده است. یک عنصر ضروری برای حیوانات محسوب می‌شود اما در غلظت‌های کم
وانادیوم (V)	۰/۱	۰/۰۱	در غلظت های پایین نسبتاً برای بسیاری از گیاهان مسموم کننده است.
قلع (Sn)			
تیتانیوم (Ti)			به طور مؤثری توسط گیاهان خارج می‌شود. و ویژگی تغییرات آن ناشناخته است.
تنگستن (W)			
روی (Zn)	۲/۰	۱۰/۰	سمیت برای بسیاری از گیاهان به طور گسترده‌ای متغیر است. سمیت آن در pH>6، خاک آلی و خاک با بافت ریز کاهش می‌یابد.

۲-۲-۱-۶- مسائل متفرقه و سایر ملاحظات با خواص شیمیایی کیفیت آب

بررسی‌های کیفی مربوط به آب آبیاری به ویژه آب با کیفیت پایین روی محصولات کشاورزی موجب مسائل گوناگونی می‌شود که در عمل قابل توجه می‌باشد. با مصرف آب‌های نامتعارف در گیاهانی که با این آب‌ها آبیاری می‌شوند، برگ میری ناشی از اثر گچ و آهن زیاد ظاهر می‌شود. آثار و علائم مشکوک در رابطه با pH بالا در آب‌های مصرفی از دیگر صدماتی است که می‌توان نام برد. اثرات دیگر مربوط به سمیت نیتروژن که باعث خوابیدگی و ورس محصول و نیز در غلات موجب دیر به بذر نشستن زراعت می‌گردد، قابل توجه می‌باشد. بعضی آثار و علائم ذکر شده در بالا در مصرف آب‌های زیرزمینی که محتوی بعضی از این مواد به مقدار زیادی هستند، بیشتر بروز می‌کند. در بعضی موارد دیگر، هر گاه مسیر انتقال آب آبیاری در بسترهائی که دارای املاح محلول مشکل‌ساز هستند، باشد عموماً طی گذشت زمان به تدریج اثرات خود را در آب‌های جاری گذاشته و در نهایت موجب بروز مشکلات می‌شود. بنابراین کارشناسان باید همیشه مراقب باشند تا بتوانند به موقع در جلوگیری و یا تصحیح بروز مسئله به موقع عمل نمایند.

چون آب‌های شور به علت دارا بودن غلظت بعضی از یون‌ها می‌توانند احتمالاً پتانسیل بالقوه‌ای در بروز مشکلات در خاک و محصول داشته باشند، بنابراین با توجه به شرایط نوع خاک، دوره رشد گیاه، شرایط اقلیمی و به ویژه غلظت یون‌های سمی موجود در آب، توجه بیشتری را طلب می‌کند.

۲-۳- ارزیابی کیفیت آب آبیاری و تقسیم‌بندی های مختلف

مطالعات مختلف نشان داده است که میزان تولید در شرایط شوری یکسان آب، با تغییر بافت خاک و یا اقلیم تفاوت می‌کند (میناس و گاپتا، ۱۹۹۲)[1]. هرچه اقلیم خشک تر باشد و یا بافت خاک ریزدانه شود، در شرایط شوری یکسان آب، محصول با کاهش بیشتری تولید می شود. لذا در ارزیابی آب آبیاری به عنوان معیاری برای مدیریت آبیاری، علاوه برکیفیت آب آبیاری نکات دیگری نیز باید در نظر گرفته شود.

1- Minhas and Gupta, 1992

اثر بافت خاک در ارزیابی آب آبیاری، به علت تأثیر آن در مقدار شوری محلول خاک می‌باشد. با افزایش میزان رس خاک، تبادل کاتیونی خاک افزایش می یابد و به تبع آن برغلظت محلول خاک افزوده می‌شود (بای بوردی ۱۳٦٦).

از دیدگاه آبیاری، آبها را به طریق مختلف دسته‌بندی کرده‌اند. در تقسیم‌بندی آبها از معیارهای مختلفی استفاده می‌شود. در اینجا سه نوع تقسیم‌بندی به شرح ذیل ارائه می‌شود:

- تقسیم‌بندی کیفی آب آزمایشگاه شوری آب آمریکا (۱۹٥٤)
- تقسیم‌بندی کیفی آب هندوستان (۱۹۹۸)
- تقسیم‌بندی کیفی آب ایران (نی‌ریزی ۱۳۷۷)

۲-۳-۱- تقسیم‌بندی کیفی آب آزمایشگاه شوری آب آمریکا (۱۹۵۴)

آزمایشگاه شوری آمریکا، راهنمای تقسیم‌بندی کیفی آب آبیاری قبلی خود را اصلاح نموده که در جدول (۲-۱۰) آمده است. تقسیم‌بندی مذکور جهت کشورهایی که دارای منابع آب شورتری می‌باشند مناسب است. این تقسیم‌بندی در کشورهای مختلفی چون کانادا، کلمبیا، عراق، آفریقای جنوبی، سوریه و... استفاده می‌شود.

جدول ۲-۱۰- تقسیم‌بندی کیفی آب آزمایشگاه شوری آب آمریکا (اصلاح شده)

گروه	شوری		ارزیابی
	µmhos/cm	mg/l	
C_1	۲٥۰>	۲۰۰>	شوری کم ـ برای اغلب گیاهان مناسب است.
C_2	۲٥۰-۷٥۰	۲۰۰-٥۰۰	شوری متوسط ـ مقداری آبشویی جهت کنترل نمک منطقه ریشه لازم است.
C_3	۷٥۰-۲۲٥۰	٥۰۰-۱٥۰۰	شوری زیاد ـ گیاهان مقاوم با احتساب آبشویی
C_4	۲۲٥۰-٤۰۰۰	۱٥۰۰-۲٥۰۰	شوری زیاد- در خاک‌های سبک با نفوذپذیری زیاد و گیاهان مقاوم به شوری
C_5	٤۰۰۰-٦۰۰۰	۲٥۰۰-۳٥۰۰	شوری خیلی زیاد- فقط در خاک‌های با نفوذپذیری خیلی زیاد و گیاهان بسیار مقاوم
C_6	٦۰۰۰<	۳٥۰۰<	شوری بسیار زیاد ـ غیرقابل استفاده

در تقسیم‌بندی فوق آبهایی که شوری آنها بیش از μmhos/cm ۶۰۰۰ می‌باشد غیر قابل استفاده قلمداد شده‌اند در صورتی که درحال حاضر مناطقی که با کمبود شدید منابع آب آبیاری روبرو هستند از آبهای شورتری نیز جهت آبیاری استفاده می‌کنند.

۲-۳-۲- تقسیم‌بندی کیفی آب هندوستان

همانطوری که قبلاً توضیح داده شد شوری نهایی خاک متأثر از شوری آب آبیاری، کسر آبشویی و مقدار رس خاک می‌باشد. در شرایط طبیعی با افزایش میزان بارندگی و درشت دانه شدن بافت خاک، میزان آبشویی طبیعی خاک افزایش یافته و در شرایط کاربرد آب آبیاری با شوری ثابت، شوری نهایی خاک کاهش می‌یابد. از طرفی با افزایش مقدار رس خاک، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک افزایش می‌یابد و به تبع آن غلظت محلول خاک نیز زیاد می‌شود. به عبارت دیگر می‌توان گفت که اثرات شوری آب آبیاری بر رشد گیاه تابع بافت خاک و میزان بارندگی منطقه نیز می‌باشد. بر این اساس جدول راهنمای (۲-۱۱) برای ارزیابی کیفیت آب آبیاری در شرایط مختلف بافت خاک، نوع گیاه و میزان بارش سالانه ارائه شده و برای شرایطی که مقدار RSC آب کمتر از meq/l ۲/۵ می‌باشد صادق است.

در این جدول گیاهان از نظر مقاومت به شوری به سه گروه حساس، نیمه مقاوم و مقاوم تقسیم شده‌اند و مقدار شوری قابل تحمل برای هر گروه با توجه به بافت خاک و مقدار بارش سالانه در جدول آمده است. مثلاً گیاه نیمه مقاوم در شرایطی که میزان بارش سالانه کمتر از mm ۳۵۰ باشد هنگامی که بافت خاک بیش از ۳۰٪ رس داشته باشد قادر است در شرایطی که شوری آب آبیاری dS/m ۱/۵ باشد محصول خوبی تولید کند در صورتیکه اگر مقدار رس خاک به کمتر از ۱۰٪ کاهش یابد آنگاه گیاه نیمه مقاوم می‌تواند در شرایطی که شوری آب آبیاری به حدود dS/m ٦ افزایش می‌یابد محصول رضایت‌بخشی تولید نماید.

جدول ۲-۱۱- راهنمای استفاده از آب شور هندوستان

حساسیت به شوری	حد بالایی شوری آب آبیاری (dS/m)								
	گیاهان حساس			گیاهان نیمه مقاوم			گیاهان مقاوم		
بارش سالانه برحسب mm	< ۳۵۰	۳۵۰-۵۰۰	۵۵۰-۷۵۰	<۳۵۰	۳۵۰-۵۰۰	۵۵۰-۷۵۰	< ۳۵۰	۳۵۰-۵۰۰	۵۵۰-۷۵۰
بافت خاک (درصد رس خاک)	۱/۰	۱/۰	۱/۵	۱/۵	۲/۰	۳/۰	۲/۰	۳/۰	۴/۵
خاک ریز بافت ۳۰< رس									
خاک متوسط ریز ۳۰> درصد رس > ۲۰	۱/۵	۲/۰	۲/۵	۲/۰	۳/۰	۴/۵	۴/۰	۶/۰	۸/۰
خاک متوسط درشت ۲۰>رس>۱۰	۲/۰	۲/۵	۳/۰	۴/۰	۶/۰	۸/۰	۶/۰	۸/۰	۱۰/۰
خاک درشت ۱۰> رس	-	۳/۰	۳/۰	۶/۰	۷/۵	۹/۰	۸/۰	۱۰/۰	۱۲/۵

مأخذ: CSSRI ۱۹۹۸

۲-۳-۳- تقسیم‌بندی کیفی آب ایران (نی‌ریزی ۱۳۷۷)

اساس این طبقه‌بندی بر وجود آبشویی ناخواسته در مزارع آبی و میزان کاهش محصول استوار است. مشاهده شده است که اگر آب آبیاری حتی در سیستم‌های تحت فشار به مقدار کمبود رطوبت خاک باشد باز در اثر نفوذ عمقی حدود ده درصد از آب آبیاری از دسترس گیاه خارج می‌شود که به آن نفوذ اجتناب‌ناپذیر یا نفوذ ناخواسته اطلاق می‌شود. همچنین به عقیده رجب (۱۹۹۸) کسر آبشویی بطور غیر مستقیم به صورت تلفات اجتناب‌ناپذیر در اثر بازدهی کم آبیاری، تامین می‌شود. با در نظر گرفتن حداکثر راندمان آبیاری بارانی و قطره‌ای برابر ۷۰ الی ۸۰ درصد و حداکثر راندمان آبیاری سطحی در وضع موجود برابر ۵۰ الی ٦۰ درصد می‌توان پیش‌بینی کرد که حداقل کسر آبشویی در سیستم‌های آبیاری در شرایط خاک‌های بافت متوسط حدود ۲۰ درصد می‌باشد. به عبارت دیگر در نظر گرفتن LF = ۰/۲ در وضعیت موجود مدیریت سیستم‌های آبیاری، امری خلاف واقع نمی‌باشد. با این فرضیات می‌توان شوری عصاره اشباع خاک را در وضعیت آبیاری با آبهای با کیفیت مختلف پیش‌بینی کرد و براساس آن مقدار محصول‌دهی گیاهان مختلف را تخمین زد.

شکل (۲-۲) نشان می‌دهد که با فرض ضریب آبشوئی ۰/۲، مقدار شوری آب آبیاری حدود ٧٦ درصد میانگین شوری عصاره اشباع خاک در ناحیه ریشه خواهد شد. با معلوم بودن شوری عصاره اشباع خاک می‌توان پتانسیل تولید نسبی گیاهان مختلف زراعی را براساس داده‌های مس (Mass) تعیین نمود. لذا براساس مقدار

تولید گیاهان زراعی در شرایط شوری آب و خاک، آبهای آبیاری را می توان طبق جدول (۲-۱۲) از نظر کیفی به چهار دسته شوری کم، لب شور، شوری متوسط و شوری زیاد تقسیم نمود (نی ریزی ۱۳۷۷).

در این طبقه‌بندی اثرات شوری آب بر تولید گیاهان حساس، نیمه حساس، نیمه مقاوم و مقاوم مورد تحلیل قرار گرفته و در شرایط ضریب آبشویی حدود ۲۰٪ (LF = ۲۰٪) در جدول زیر ارائه شده است. در صورتیکه بر اثر آبیاری بیش از حد معمول یا سبکی بافت خاک ضریب بیشتر از ۲۰٪ باشد، مزرهای تقریبی تولید محصول بیشتر از ارقام ارائه شده در این جدول بوده و به عبارت دیگر کاربرد آب شور مقبولیت بیشتری خواهد داشت. در شکل (۲-۳) محدوده شوری آب در این طبقه‌بندی با فرض LF =۲۰٪ و کاهش محصول گیاهان عمده تولیدی کشور نسبت به تغییر شوری آب آبیاری ترسیم شده است.

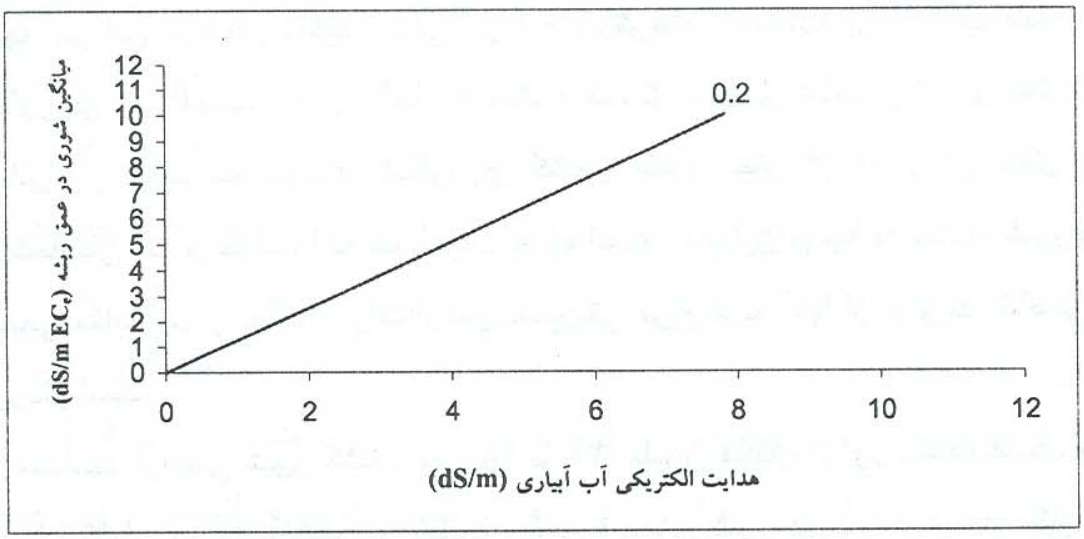
جدول شماره ۲-۱۲- طبقه‌بندی آب شور برای مصارف کشاورزی در شرایط (LF=۲۰٪) (نی‌ریزی ۱۳۷۷)

شوری آب آبیاری		تأثیرات آن بر تولیدات زراعی
شوری کم	EC<4 ds/m	اغلب گیاهان محصول مناسب خواهند داشت. بعضی از گیاهان حساس به شوری نظیر ذرت حدود ۳۰ درصد و گیاهان خیلی حساس نظیر لوبیا حدود ۵۰ درصد محصول را از دست می‌دهند.
لب شور	4<EC<8 ds/m	گیاهان مقاوم به شوری نظیر چغندر، پنبه و جو محصول مناسب می‌دهند گیاهان نیمه مقاوم نظیر گندم حدود ۳۰ درصد و یونجه ۵۰ درصد محصول را از دست می‌دهند.
شوری متوسط	8<EC<12 ds/m	گیاهان مقاوم به شوری حدود ۳۰ درصد و گیاهان نیمه مقاوم بیش از ۵۰ درصد محصول را از دست می‌دهند.
شوری زیاد	EC<12 ds/m	مناسب کشت گیاهان شورزیست، گیاهان مقاوم به شوری بیش از ۵۰ درصد محصول را از دست می‌دهند.

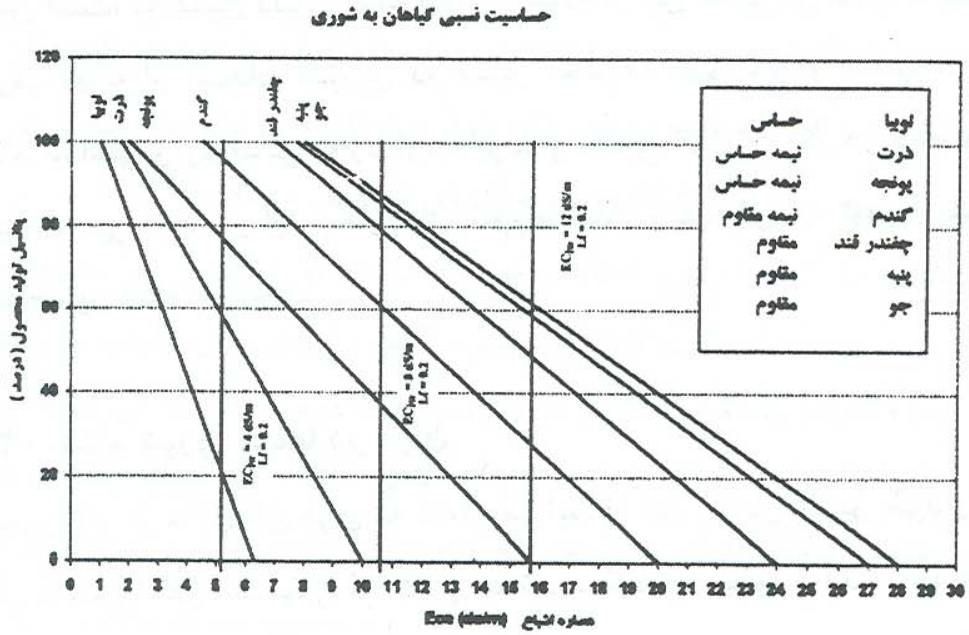
* باافزایش ضریب آبشویی (LF=۲۰٪)، در اثر کاربرد بیشتر آب و یا سبکی بافت خاک، تولید محصول از محدود ارائه شده درجدول فوق افزایش پیدا کرده و کاربرد آب شور توجیه بیشتری خواهد داشت.

برای مثال با توجه به شکل (۲-۳) مشخص می‌شود که با فرض آبشویی به میزان ۲۰٪ ، هنگامی که شوری آب آبیاری برابر ٤dS/m، ۸dS/m، ۱۲dS/m باشد مقدار

محصول نسبی یونجه به ترتیب معادل ۷۵٪ ، ۳۷٪ و ۰٪ (توقف تولید) خواهد شد. در همین شرایط میزان تولید نسبی گندم ۱۰۰٪ ، ٦۷٪ و ۳۰٪ خواهد شد. با این روش تقسیم‌بندی کیفی آب آبیاری، مدیریت مزرعه به آسانی می‌تواند با دقت قابل قبولی میزان محصول نسبی گیاهان مختلف را با توجه به کیفیت آب آبیاری مزرعه پیش‌بینی کند و الگوی کشت را با توجه به امکاناتی که دارد تنظیم نماید.



شکل ۲-۲- رابطه بین شوری آب آبیاری و شوری عصاره اشباع خاک در شرایط کسر آبشویی ۰/۲ و دوره آبیاری معمولی



شکل ۲-۳- حساسیت نسبی گیاهان به شوری

۳ـ مخازن و منابع آب شور کشور

۳-۱- کلیات

مقدار کمی و کیفی آب‌های لب شور و شور در رابطه با منابع شور کننده این آب‌ها از نظر مقدار و کیفیت آنها و نیز تحت اثر عوامل و پارامترهای گوناگونی که باعث شوری آب و خاک کشور شده‌اند در این بخش مورد بررسی قرار می‌گیرد. گرچه در این نوشتار تأکید اصلی درباره روش‌های استفاده از آب لب شور در کشاورزی آبی است، اما از آنجا که منشاء مسائل شوری خاک و آب و نقش این مسائل در تولید محصولات کشاورزی کشور اکنون بیش از هر زمان دیگر نظر کارشناسان آب و خاک را به خود جلب کرده است، بنابراین توجه به منشاء شوری و سدیمی منابع آب و خاک و راهکارهای مدیریتی مربوط به آنها از اولویت خاصی بر خوردار است.

مساحت اراضی شور کشور بین ۱۸ تا ۳۵ میلیون هکتار برآورد شده است، ولی گزارش کاملی در باره کمیت و کیفیت واقعی آب‌های شور در دست نیست. بنابراین در اینجا سعی خواهد شد که یک جمع‌بندی از اطلاعات به دست آمده به شرح زیر ارائه گردد. شواهدی در دست است که نشان می‌دهد منابع آب شور کشور رو به افزایش است، به همین دلیل راهکارهای استفاده از این منابع در جهت صرفه‌جوئی و مصرف بهینه از آب‌های شیرین در سایر بخش‌ها نظیر شرب و صنعت به عنوان راهکار اساسی و زیربنائی مورد توجه بوده و بالطبع عوامل مؤثر در کیفیت این گروه آب‌ها مهم می‌باشد. در این بخش علل شوری خاک و آب‌های لب شور و شور کشور به شرح زیر ارائه می‌شود.

۳-۲- منشاء شوری آب‌ها در ایران

چون آب از حلال‌های قوی به شمار می‌آید، از این رو در مسیر خود و به محض تماس با محیط‌های متخلخلی که شور هستند، نمک‌های محلول را در خود حل می‌کند، بنابراین کلیه آب‌های طبیعی کم و بیش شور هستند. مقدار و نوع شوری رابطه نزدیک

با معبری دارد که آب در آن در جریان است و یا از آن عبور می‌کند. از این رو در اینجا فقط به ذکر منابع شوری کشور به شرح زیر اشاره می‌شود:

ساختارهای زمین شناسی

به نظر کوودا و دیوان و فاموری (۱۹۶۰) از عوامل پیدایش خاک‌ها و آب‌های محتوی نمک‌های محلول زیاد در ایران ساختارهای زمین شناسی و پدیده‌های مربوط به آن می‌باشد. بررسی‌های متعدد که از بیش از نیم قرن قبل انجام گرفته نشان‌دهنده این واقعیت است که بزرگترین فرورفتگی‌های ایران که در فلات مرکزی، جنوب و جنوب شرقی قرار گرفته‌اند، نظیر جازموریان، لوت، کویر نمک، کویر بجستان، کویر اردکان، یزد، سیرجان، اصفهان، برازجان، دزفول و در شمال غربی نظیر دریاچه ارومیه، کم و بیش به گسل‌های سراسری ایران نسبت داده می‌شود. از دلائل شوری می‌توان تشکیلات سری فارس از انواع ژپنس- مارن- نمک‌دار سازند قرمز بالائی[1] و شکل‌گیری اولیه آن در دوران سوم به ویژه تشکیلات سری ائوسن و میوسن را نام برد. وجود بیرون‌زدگی گنبدهای نمکی[2] مخصوصاً در نواحی مرکزی و جنوب و جنوب شرقی از تشکیلات قرمز بالائی است که از تمرکز بالائی از نمک و گچ برخوردار است. ارتفاع تقریبی این گنبدها از سطح زمین‌های اطراف تا صدها متر و قطر بعضی از آنها به حدود ۸ کیلومتر می‌رسد. ادامه سازندهای گنبدهای نمکی تا جزیره قشم هم کشیده شده به طوریکه طول و ارتفاع این تشکیلات به ترتیب به ۲۵۰ و ۷ کیلومتر می‌رسد و از ذخائر غنی نمک‌های مرغوب می‌باشد.

گسترش تشکیلات زمین شناسی مربوط به مناطق تبخیری در سطح حوزه‌های نامبرده و مخصوصاً وجود لایه‌های نمکی، گچی و زمین‌های مارنی و رسی نیز از عوامل عمده آلوده کننده می‌باشند. در بررسی چند کویر ایران به این نتیجه رسیده‌اند که تشکیلات آنها در دوران چهارم از پلئیستونی که دارای دریاچه‌های موقتی و هم زمان با عصر یخچالی است به وجود آمده است. دریاچه ارومیه نیز از نظر تکتونیکی

1 - Upper – red - formation
2- salt domes

بر خلاف دریای سیاه و دریای خزر که به نیوتتیس تعلق دارد، پس از دوره پلیوسن تشکیل یافته است. شیب ملایم کف دریاچه به طرف شمال و مرکز این نظریه را تأیید می‌کند.

اقلیم خشک و نیمه خشک

وجود اقلیم خشک و نیمه خشک با شرایط تبخیری شدید و دمای بالا و بارش سالیانه کم از عوامل حاد دیگری است که توسعه انتشار آب شور و خاک شور را در ایران موجب شده است. میزان تبخیر در بعضی از مناطق کویری و جنوب و جنوب غربی کشور به حدود ٤٠٠٠ میلیمتر در سال می‌رسد. دمای بعضی نواحی کویری نیز تا ٥٠ درجه بالا می‌رود. حوزه‌های آبگیر بسته و نیمه بسته فاقد زهکشی طبیعی، وجود لایه‌های رسوبی شور و کانی‌های مختلف شور کننده، اراضی پست، دلتاها، تراس‌های کنار دریا، آب‌های شور و سدیمی سطحی، آب‌های زیرزمینی عمقی و آرتزین شور تحت فشار و در حال تخلیه از عوامل دیگر شوری آب و خاک کشور محسوب می‌شوند. در قسمتی از خاک‌های کویری و بیابانی ایران که متوسط بارندگی سالانه در بعضی بخش‌های آن از ٥٠ میلیمتر تجاوز نمی‌کند خاک‌های مبتلا به شوری و سدیمی واقع شده‌اند. بخش مهم دیگر از خاک‌های شور در نتیجه شوری ثانویه می‌باشند که در سراسر نواحی خشک و نیمه خشک ایران به طور پراکنده به چشم می‌خورد و مانند گذشته در حال افزایش می‌باشد. بدیهی است که ادامه فرآیند نهایتاً بر کیفیت آب تمامی زیستگاه‌های دشتی و کوهپایه‌ای واقع در این نواحی تأثیر خواهد داشت و بنابراین باید نسبت به مدیریت بهره‌برداری از این گروه آب‌های شور چاره‌اندیشی کرد. در این قسمت تبخیر و در نتیجه تغلیظ آب‌های جاری در جریانات آب که در فاصله دور از منبع اصلی واقع شده‌اند و نیز افزایش شوری آب بعضی از مخازن آبی که در اثر تبخیر صورت می‌گیرد را نباید از نظر دور داشت. در مناطق خشک و نیمه خشک کشور (حدود ٩٠٪ سطح کشت) که سفره آب زیرزمینی آنها بین ٢ تا ٣ متری از سطح خاک می‌باشد، شرایط اقلیمی به نحوی است که میزان تبخیر در این نواحی حتی تا ٩٠ درصد از آب سفره‌های سطحی زیرین را از بخش روئین خاک

و اندام‌های هوائی گیاه به اتمسفر مجاور خاک و گیاه پس می‌دهد این امر موجب باقی ماندن شوری در طبقات خاک و آب می‌گردد که به تدریج آثار سوء شوری آن در جریان‌های آب‌های سطحی و عمقی به جا مانده و املاح محلول در آب‌های سطحی و زیرزمینی که با املاح محلول خاک و لایه‌های نمکی زیرین بر هم کنش دارند شور خواهند شد. از اینرو طبیعی است که سفره آب زیرزمینی بین ۳-۲ متری این مناطق شور باشد.

پیشروی آب‌های شور در آبخوان‌های ساحلی

با بهره‌برداری بی‌رویه و کاهش فشار پیزومتریک، تعادل هیدرولیکی آب‌های ساحلی آب دریا بهم خورده و آب شور با شروع به پیشروی و تداخل، آب این منابع را در معرض خطر آلودگی قرار داده است. آبخوان‌های دشت‌های ساحلی در شمال ایران وجنوب و نیز آبخوان‌های اطراف دریاچه‌های داخلی و باتلاق‌ها در طولی حدود ۳۰۰۰ کیلومتر با آب‌های شور در تماس بوده و آب‌های زیرزمینی جزایر موجود نیز به وسیله آب‌های شور احاطه گشته و در معرض نفوذ آب دریا و شورشدگی قرار گرفته‌اند. در نواحی ساحلی منابع آب‌های سطحی ممکن است از طریق نوسانات و جزر و مد آب دریا نیز شور شوند. یعنی همراه با مدهای بلند دریا، آب دریا به داخل آبراهه‌ها، نهرها و کانال‌های زهکشی و اراضی اطراف جاری شده و باعث تغییر کیفیت آب شوند.

مکش مخروطی[1] و آب‌های زیرزمینی شور

از دیگر منابعی که به شور شدن آب‌های شیرین می‌انجامد شور شدن آب‌های زیرزمینی در اثر پدیده برآمدگی لایه آب شور به داخل آب با کیفیت مطلوب می‌باشد. این روند در مناطقی صورت می‌گیرد که یک لایه آب شور در زیر لایه آب شیرین قرار دارد و با آن در تماس می‌باشد. تحت این شرایط با پمپاژ کردن آب شیرین در حد زیاد به تدریج آب شور به داخل لایه آب شیرین که رو به کاهش است راه می‌یابد

1- up - coning

و در نتیجه کیفیت آب مطلوب کاهش می‌یابد. استفاده از آب‌های زیرزمینی شور نیز از منابع دیگری است که هم اکنون در کشورهای زیادی استفاده می‌شود. در ایران نیز آب چاه‌های عمیق، نیمه عمیق و قنات‌هائی که شور و لب شور هستند و به مصرف آبیاری می‌رسند جزو این گروه آب‌ها می‌باشند. نتایج به دست آمده از بررسی‌های پژوهشی در زمینه تغییرات کیفیت آب در حوزه دشت یزد- اردکان نشان می‌دهد که شور شدن تدریجی آب‌های زیرزمینی مورد استفاده کشاورزان از طریق مکانیسم‌های تداخل آب شور به سفره‌های شیرین، مکش مخروطی و افت سفره آب بدلیل برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی به ویژه در مناطق شمالی اردکان تا حاشیه کویر سیاه کوه می‌باشد.

افت سفره آب زیرزمینی

عده‌ای از محققین اعتقاد دارند که شوری آب‌های ذخیره شده در لایه‌های محبوس رسوبی زمین با زیاد شدن عمق افزایش می‌یابد. این محققین ترتیب تغییرات از سطح به عمق طبقات را بدین نحو تشریح می‌کنند که در نزدیکی سطح، آب‌ها از گروه سولفاته و در زیر آن (در قشر میانی)، بیکربناته و در اعماق پایین‌تر، از تیپ کلره می‌باشند. تحت این شرایط طی فرآیند تخلیه آب‌های زیرزمینی سطحی، به تدریج منابع آب‌های طبقات زیرین، که در کیفیت پایین‌تر می‌باشند، جایگزین آنها می‌شوند.

زه‌آب‌های برگشتی کشاورزی[1]

آب‌های اضافی ناشی از آبیاری و نیز زه‌آب‌های حاصل از اجرای عملیات آبشوئی که در جهت خارج کردن نمک‌های محلول از محیط ریشه ضرورت دارد، در مجموع بخش اصلی از منابع آب شور در کشاورزی را تشکیل می‌دهد. آبیاری با این گروه آب‌ها در کشورهای زیادی در قاره‌های آمریکا، اروپا، آسیا و اقیانوسیه برای کشاورزی متداول می‌باشد. انتظار می‌رود در سال‌های آینده با مصرف این آب‌ها در کشاورزی، اراضی فاریاب بیش از پیش روبه افزایش رود. استفاده مجدد از زه‌آب‌ها

1 - return agricultural drainage water

در کاهش آلودگی محیط زیست نیز مؤثر است که در فصل مربوطه تشریح شده است.

۳-۳- منابع آب شور کشور

۳-۳-۱- رودهای شور ایران

معصومی[1] (۱۹۷۷) در بررسی هدایت الکتریکی (EC) آب ۳۹٦ رودخانه عمده کشور بر اساس طبقه‌بندی گروه پژوهش کنندگان ریورساید (ریچارد، ۱۹٥٤) نشان داد که ۲۰/۹ درصد جزء گروه یک (کمتر از ۲٥۰µS/cm)، ٤٥/۸ درصد جزء گروه دو (۲٥۰–۷٥۰ µS/cm)، ۲٦/۸۰ درصد جزو گروه سه (۷٥۰–۲۲٥۰ µS/cm)، ۷/۷ درصد جزو گروه چهار (۲۲٥۰– ٥۰۰۰ µS/cm)، و ٤/۳ درصد جزو گروه پنج (بیشتر از ٥۰۰۰ µS/cm) می‌باشد. براین اساس هرگاه دو رده آخر یعنی گروه‌های چهار و پنج را در ردیف گروه آب‌های شور پیشنهادی در این نوشتار به حساب آوریم، درمجموع ۱۲ درصد از آب‌های سطحی کشور در ردیف آب‌های شور (بیش از ۲۲٥۰µS/cm) قرار خواهند گرفت. گرچه این رقم تقریبی است، ولی با توجه به اینکه این بررسی در حدود ۲٥ سال قبل صورت گرفته است و در طی این مدت کیفیت آب‌های رودخانه‌های ایران سیر نزولی کرده است، بنابراین قابل توجه می‌باشد. بررسی‌های انجام شده توسط شیعتی (۱۳۷٥)، نیز بیانگر این واقعیت است که در حدود ۱۱ درصد از کل رقم متوسط جریان‌های سطحی کشور (حدود ۱۰/۷ میلیارد متر مکعب) مربوط به آبدهی رودخانه‌هائی است که مجموع املاح موجود در آن از ۱٥۰۰ میلیگرم در لیتر بالاتر می‌رود. قدرت‌نما (۱۳۷۷) میانگین جریان پایین دستی رودخانه‌های کشور را که میانگین شوری آنها از ۳٥۰۰ µS/cm بیشتر است به شرح جدول (۳–۱) ارائه داده است. در این جدول جمع کل آورد سالانه این رودخانه‌ها به حدود ٤/۷ میلیارد متر مکعب می‌رسد.

---

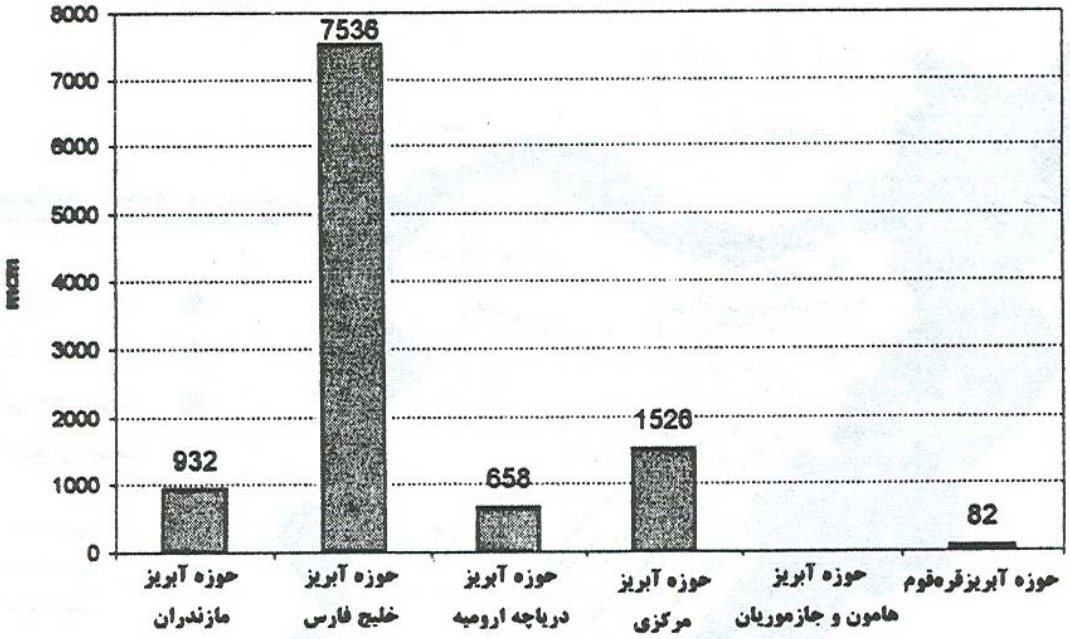
1 - Massumi, 1977

جدول ۳-۱- میانگین جریانات پایین دستی رودخانه‌های کشور که میانگین شوری آنها از ۳/۵ dS/m بیشتر است.

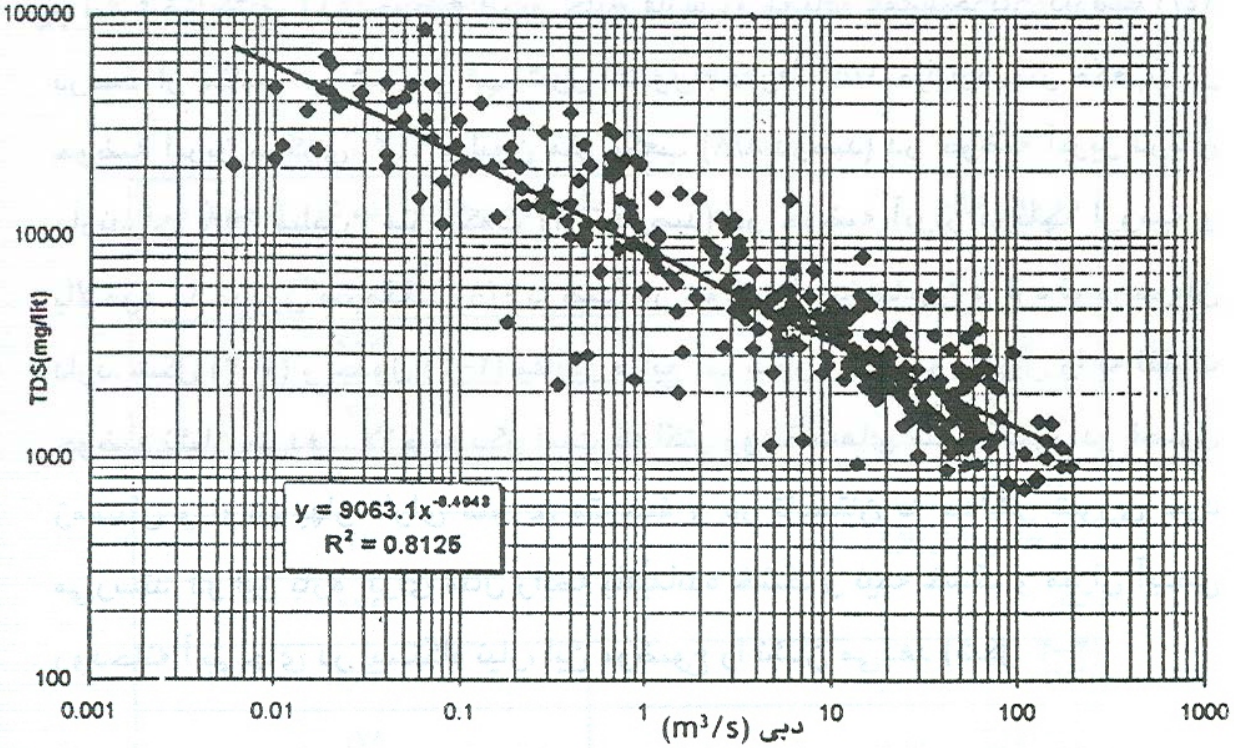
نام رود خانه	میانگین مقدار آب شور (میلیون متر مکعب در سال)
گرگانرود	۴۵۲
زیلبر چای شاخه قور چای	۲۲
آجی‌چای	۴۵۰
بابا حاجی (شیراز)	۴۲
حله	۹۳۴
موند	۱۱۸۰
زاینده‌رود	۱۷۸
شور (ادامه خر رود)	۱۹
کل (کهورستان)	۴۷۴
جاجرود	۱۳۱
قره‌چای	۲۲۲
هریرود (سهم ایران)	۵۰۴
جام رود	۱۴
مشکان	۱۴
کال خومیک	۲
کال شور	۱۱
سنگرد	۵
جمع	۴۶۵۴

اغلب رودخانه‌ها با آب‌های شور و لب شور، در نواحی جنوب و جنوب غربی و مرکزی کشور جاری هستند. از کل منابع آب‌های سطحی شور و لب شور کشور، حدود ۷/۵٤ میلیارد متر مکعب آن، (حدود۷۰ درصد از کل منابع آب‌های سطحی شور

و لب شور کشور) در حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان جریان دارد. ۱۴/۲۰ درصد از منابع آب شور و لب شور کشور (حدود ۱/۵۳ میلیارد متر مکعب) در حوضه آبریز مرکزی، ۹۴۲ میلیون متر مکعب (۸/۸ درصد) در حوضه آبریز دریای مازندران، ۶۵۸ میلیون متر مکعب (۶/۱ درصد) در حوضه آبریز دریاچه ارومیه و بالاخره ۸۲ میلیون مترمکعب (۰/۸ درصد) در حوضه آبریز هامون و قره قوم، جریان دارد. شکل (۳-۱) و جدول (۳-۲) مقادیر منابع آب شور و لب شور ایران را به تفکیک حوضه نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که اکثر رودخانه‌های شور کشور در فصول زمستان و اوائل بهار دارای شوری متوسط و در تابستان به حداکثر شوری خود می‌رسند. در این باره برای مثال رابطه باقیمانده خشک و نیمه خشک و میزان آبدهی رودخانه آجی‌چای در ایستگاه نیار، این موضوع را نشان می‌دهد (شکل ۳-۲).



شکل ۳-۱- توزیع منابع آب‌های شور و لب‌شور ایران به تفکیک حوضه‌های آبریز اصلی کشور (صادقیان، ۱۳۷۸)



شکل ۳ ـ ۲ ـ رابطه باقیمانده خشک و میزان آبدهی رودخانه آجی‌چای در ایستگاه ونیار (صادقیان، ۱۳۷۸)

شکل ۳ ـ ۳ ـ پراکندگی رودخانه‌های شور و نیمه‌شور در حوضه‌های آبریز اصلی ایران (میر ابوالقاسمی، ۱۳۷۸)

شکل (۳-۳) و جدول (۳-۲) وضعیت پراکندگی رودخانه‌های شور و نیمه شور در حوضه‌های آبریز کشور را نشان می‌دهند.

جدول شماره ۳-۲- وضعیت پراکندگی رودخانه‌های شور و نیمه شور در حوضه‌های آبریز اصلی ایران

نام حوضه اصلی	نام زیر حوضه اصلی	نسبت سطح (RS)	تعداد رودخانه	طول رودخانه‌ها (km)			نسبت طول (درصد)	نسبت پراکندگی	درصد پراکندگی
				نیمه شور	شور	مجموع			
دریای خزر	--	۱۰/۷	۵۷۰	٤۷۵	٤۰۰	۸۷۵	۱/۷۵	۰/۱۸۷	۲/۹۸
خلیج فارس و دریای عمان	--	٦۲/۲	۹۲۰	۱۵۰۰	۲٤۰۰	۳۹۰۰	۷/۸	۲/۰٤	۳۲/۵٦
دریاچه ارومیه	--	۳/۱	۱۷۵	۵۵	۱۵۰	۲۰۵	۰/٤۱	۰/۰۱۲	۰/۱۹
فلات مرکزی	دریاچه نمک قم	۵/۷	۱٤۰	۱۲۰۰	۲٦۰۰	۳۸۰۰	۷/٦	۳/۸۳	٦۱/۱۳
	باتلاق گاوخونی	٦/۱	٤۵						
	نیریز و بختگان	۱/۹	٤۰						
	جازموریان	٤/۳	۹۰						
	کویر نمک	۱٤	۳۸۰						
	اردستان یزد	٦/۱۵	٤۰						
	کویر لوت	۱۲/۳	۱۰۵						
شرق کشور	قره قوم	۲/۷	۸۵	۳۷۰	٦٦۰	۱۰۳۰	۲/۰٦	۰/۱۹۵	۳/۱۱
	هامون	٦/۸	۲۲۵						
جمع		۱۰۰	۲۸۱۵	۳٦۰۰	٦۲۱۰	۹۸۱۰	۱۹/٦	٦/۲٦	۱۰۰

۳-۳-۲- دریاچه‌های شور ایران

علاوه بر منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی شور تجدیدپذیر، کشور ما دارای ذخایر آب‌های سطحی شور در غالب دریاچه‌های داخلی و آب‌های گرم جنوب به شرح زیر می‌باشد:

الف – آب‌های دریاچه‌های طبیعی و مصنوعی شور برای آبیاری

از جمله منابع آب‌های سطحی که پتانسیل بالقوه و بالفعل برای مصارف کشاورزی دارند دریاچه‌های طبیعی و مصنوعی شور هستند که در سراسر کشور پراکنده‌اند. مطالعاتی که مرکز تحقیقات منابع آب وابسته به وزارت نیرو درسال ۱۳۷۷ به عمل آورده است درباره "کیفیت شیمیائی آب دریاچه‌های طبیعی و مخازن سدهای ایران" می‌باشد که در اینجا فقط درباره آب‌هایی که در ردیف آب‌های با کیفیت پایین می‌باشند، بحث خواهد شد. به این ترتیب با در نظر گرفتن هدایت الکتریکی آب (EC_W) به عنوان معیار اصلی، کلیه آنها به دو گروه تقسیم شده‌اند :

گروه اول: آب‌هایی که EC آنها بین ۳۰۰۰ تا ۷۰۰۰ میکرو موس در سانتیمتر قراردارد.

گروه دوم: آب‌هایی که EC آنها بین ۷۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ میکرو موس در سانتیمتر قرار دارد.

لازم به ذکر است که در برخی موارد تغییرات EC دریاچه با توجه به شرایط اقلیمی نظیر بارش و تبخیر در طول فصول زیاد می‌باشد. لذا از آنجائی که بیشترین فصول آبیاری در کشور در بهار وتابستان قرار دارند، اعداد مربوط به این فصول در این تقسیم‌بندی مورد استفاده قرار گرفته است.

از بین پارامترهایی که در گزارش مرکز تحقیقات منابع آب ارائه شده و عمدتاً شامل EC, TDS, pH, SAR، آنیون‌ها، کاتیون‌ها و سختی کربناته می‌باشد، سه فاکتور EC, TDS, SAR در این نوشتار ارائه شده است.

در خصوص حجم آب این دریاچه‌ها به عنوان یکی از شاخص‌های مهم بررسی منابع آب، متأسفانه غالباً در گزارش مورد استفاده هیچ عددی وجود نداشته و در برخی موارد نیز، سطح متوسط و عمق میانگین دریاچه ارائه شده است که در صورت لزوم این ارقام به عنوان یک تخمین از حجم قابل دسترس ارائه می‌شود.

۱- دریاچه‌های گروه اول : همانگونه که گفته شد این گروه شامل دریاچه‌هایی است که EC آنها بین ۳۰۰۰ تا ۷۰۰۰ میکرو موس در سانتیمتر است.

۱-۱- دریاچه اینچه برون:

این دریاچه در دشت ترکمن صحرا واقع شده و منطقه آن دارای آب و هوای مدیترانه‌ای گرم با تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های ملایم است. میزان املاح آب این دریاچه در بهار و تابستان نسبت به پاییز و زمستان کمتر است. حداکثر pH آب این دریاچه مربوط به فصل بهار و معادل ۷/۳۸ و حداقل آن ٦/۸۲ در فصل زمستان است. تیپ آب دریاچه کلرور سدیک است. پارامترهای کیفیت شیمیائی آن در جدول (۳- ۳) ارائه شده است.

جدول ۳-۳- کیفیت آب دریاچه اینچه برون

فصل	$EC\times10^6$	TDS (mg/lit)	pH	SAR
پاییز	۱۱٤۳۲	۷۳۸۲	٦/۹٤	۱۷/۲۳
زمستان	۱۱۸۷۰	۷۷۷۱	٦/۸۲	۱۵/٤۲
بهار	۵۵۷٤	۳۹۷۲	۷/۳۸	۸/۰۸
تابستان	۵٦۷۵	۳۸۳۱	۷/۱٤	۹/٦۱

۲- دریاچه‌های گروه دوم: همان گونه که گفته شد این گروه نیز شامل دریاچه‌هایی است که EC آنها بین ۷۰۰۰ تا۱۰۰۰۰ میکرو موس در سانتیمتر است.

۲-۱- دریاچه آجی گل:

این دریاچه در دشت ترکمن صحرا و در نزدیکی مرز ایران و ترکمنستان قرار دارد. آب و هوای منطقه مدیترانه‌ای گرم با تابستان‌های خشک و گرم و زمستان‌های ملایم است. سطح این دریاچه در زمان پر آبی حدود ۳۲۰ هکتار (۳/۲ کیلومتر مربع) و میانگین عمق آن حدود ۲/۵ متر است. آبگیری دریاچه به وسیله رودخانه اترک و کانال آمدگل صورت می‌گیرد. املاح محلول دریاچه در بهار حداقل و در پاییز حداکثر است. تیپ آب کلرورسدیک است. نتایج پارامترهای کیفی آب دریاچه در جدول (۳-٤) ارائه شده است.

جدول ۳-٤- کیفیت آب دریاچه آجی گل

فصل	$EC\times10^6$	TDS (mg/lit)	pH	SAR
پاییز	۱۱٤۹	۷٦۱۰	٦/۸٦	۱۵/۹٤
زمستان	۸۹۲۸	٦۰۳۰	٦/۹۰	۱۳/۰۱
بهار	۷۱٦۲	۵۰۳۵	۷/۲۹	۱۱/۵۹
تابستان	۸٦۷۷	۵۹۸۰	۷/۲۵	۱۳/۰٤

۲-۲- دریاچه پریشان (فامور):

دریاچه پریشان یا فامور در ۱۵ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان کازرون قرار گرفته است. مساحت آن حدود ٤۳ کیلومتر مربع می‌باشد. آب دریاچه از آبراهه‌های سرچشمه گرفته از کوه فامور و ارتفاعات جنوب شرقی که چشمه ساران متعددی در آن وجود دارند تأمین می‌شود. از سوی دیگر به دلیل وجود قنات‌های متعدد در جنوب کازرون به نظر می‌رسد منابع آب زیر زمینی نیز در تغذیه دریاچه مؤثرند. به علت تغییرات جوی و میزان آب ورودی به دریاچه، EC درزمستان و بهار کاهش و در پاییز و تابستان افزایش می‌یابد. تیپ آب آن کلرور سدیک است. جدول (۳-۵) پارامترهای کیفی آب این دریاچه را نشان می‌دهد.

جدول ۳-۵- کیفیت آب دریاچه پریشان (فامور)

فصل	$EC\times10^6$	TDS (mg/lit)	pH	SAR
پاییز	۷۰۷۸	٤٤۲۷	۸/۳	۹/۷٤
زمستان	٤۵٦۳	۳۰٤۸	۸/۰۷	٦/۸
بهار	٤۰۷۷	۲۸۳۷	۷/۹۹	۷/۰۷
تابستان	۵۸۹٤	۳۸۷۵	۸/۳	۹/۲۲

۲-۳ - دریاچه هامون:

مجموع آب‌ها و باتلاق‌ها یا دریاچه‌های فصلی که در شمال غرب، غرب و جنوب غربی شهرستان زابل قرار گرفته‌اند و تحت عناوین مختلفی مانند هامون صابری، هامون هیرمند، هامون و هامون پوزک می‌باشند دریاچه یا دریاچه‌های هامون نامیده شده است. رودها و آبراهه‌های زیادی به این دریاچه و باتلاق‌های اطراف آنها تخلیه می‌گرددکه از آن میان رودخانه هیرمند بالاترین رقم آبدهی را داراست. سطح زیر پوشش آبی این دریاچه حدود ۹۹۰ و ٥٤٠ کیلومتر مربع مربوط به هامون صابری و هامون هیرمند است. جدول (۳-٦) مشخصات کیفی دریاچه‌های هامون صابری و هامون هیرمند را نشان می‌دهد.

جدول ۳-٦- مشخصات کیفی دریاچه‌های هامون صابری و هیرمند

نام دریاچه	فصل	$EC\times10^6$	TDS (mg/lit)	pH	SAR
دریاچه‌هامون صابری	پائیز	٣٤٦٠	٢٢٤٤	٨/٧٦	١٣/٨٧
	زمستان	٢٨٣٥	١٨٤٠	٨/٧٤	١١/٦٩
	بهار	٢٢٢٢	١٤٢٨	٨/٤٦	١٢/٨٢
	تابستان	٤١٨٥	٢٩٣٢	٨/٢٨	١٨/٢٨
دریاچه‌هامون هیرمند	پائیز	٢٦١٤	١٦٨٠	٨/١٧	١٠/٨٧
	زمستان	-	-	-	-
	بهار	١١٩٦	٧٢٤	٨/٣٤	٦/٢١
	تابستان	٣٤١٧	٢٢٧٣	٨/٣٤	١٣/٣٥

ب- دریاها و دریاچه‌های بسیار شور

- بزرگترین حوضه آبریز کشور مربوط به خلیج فارس و دریای عمان است که شوری آن بین ٤٠ تا٥٠ گرم در لیتر تغییر می‌کند.

- دریاچه خزر در شمال کشور واقع گردیده و بزرگترین دریاچه دنیا است. شوری آب آن حدود ۱۵ گرم در لیتر می‌باشد که تقریباً ۰/۲۵ شوری متعارف دریاها و اقیانوس‌ها (٦۰ گرم در لیتر) است.
- دریاچه ارومیه در شمال غربی کشور واقع شده و دارای شورترین آب دریاچه‌های کشور است. میزان املاح آن بیش از ۲۰۰ گرم در لیتر بوده، به طوریکه هیچگونه ماهی در آن قادر به ادامه حیات نیست.
- سه دریاچه مهم با آب شور شامل مهارلو، نیریز، تشک در منطقه فارس وجود دارد که از شوری نسبتاً بالائی برخوردارند.
- سایر دریاچه‌های آب شور کشور شامل حوض سلطان و گاوخونی در مرکز کشور می‌باشند. اطلاعات قابل ارائه در مورد شوری آب این دریاچه‌ها در دست نیست.

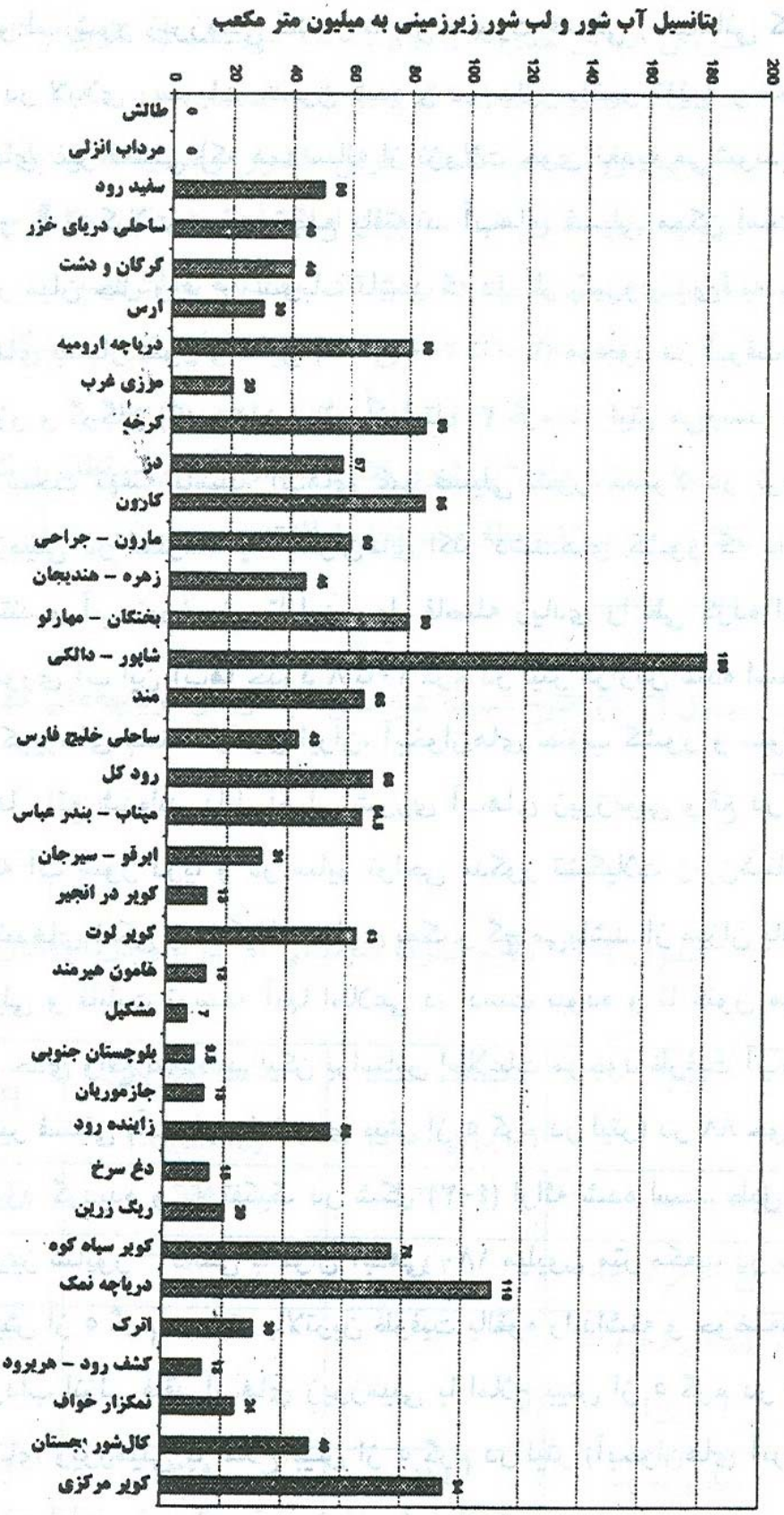
در جدول (۳-۷) نتایج تجزیه شیمیائی آب دریا و دریاچه‌های مهم ایران ارائه شده است.

جدول ۳-۷- نتایج تجزیه شیمیائی آب دریا و دریاچه‌های مهم ایران

نام	باقیمانده خشک TDS(g/lit)	هدایت الکتریکی EC(dS/m)	PH	SAR
دریاچه ارومیه	۲۱۹	۳۲۵	۸/۲	۱۳۵
خلیج فارس (بوشهر)	٤۱	۵۳	۸/۲	٦۳
دریای خزر (خرم آباد، ساری)	۱۵	۲۳	۷/۷	۲٤
مهارلو ده بید	۲۷٤	۳۵۹	۸/۲	۳۵

۳-۳-۳- آب‌های شور زیرزمینی

آب‌های شور و لب شور زیرزمینی کشور به دو صورت فسیلی (آب‌هائی که از زمان‌های گذشته در لابلای رسوبات مدفون شده و در حال حاضر تغذیه و تجدید نمی‌شوند) و آب‌های غیر فسیلی (که همه ساله از نزولات جوی تغذیه می‌شوند) در رسوبات آبرفتی و یا تشکیلات سخت تجمع یافته‌اند. آب‌های فسیلی ممکن است از بقایای آب دریا در میان خلل و فرج رسوبات باشند که در اثر پسروی دریا به جای مانده‌اند، مثل آب‌های بسیار شور و عمیق (اعماق ۲۰۰ تا۳۰۰) موجود در آبرفت‌های سواحل دریای خزر و گرگان (که میزان املاح آنها تا۳۰۰ گرم در لیتر می‌رسد) و یا در دل تشکیلات سخت نهفته باشند. آب‌های غیر فسیلی شور معمولاً در نواحی خروجی آب زیرزمینی در سفره‌ها یا آبخوان‌های اکثر دشت‌های کشور که دارای بافت ریزدانه هستند و آب زیرزمینی تا این محل فاصله زیادی را طی کرده است تشکیل شده‌اند. شوری آب این آب‌ها حدود ۸ تا۲۰ گرم در لیتر گزارش شده است و عمدتاً در حاشیه کویرهای بسته مرکزی ایران، آبخوان‌های جنوب کشور و سواحل دریاها و دریاچه‌ها واقع شده‌اند. دلیل اصلی شوری آب‌های زیرزمینی واقع در این سواحل نفوذ زبانه آب شور دریا و در سایر نواحی مذکور تشکیلات زمین‌شناسی شورکننده نظیر گنبدهای نمکی و تشکیلات حاوی نمک و گچ می‌باشد. از میزان بالقوه آب‌های شور فسیلی و قابلیت توسعه آنها اطلاعی در دست نبوده و تا کنون مورد مطالعه و اکتشاف جدی واقع نشده‌اند. لیکن براساس اطلاعات موجود ظرفیت آب‌های لب شور وشور غیر فسیلی (آب‌های با شوری بیش از ۵ گرم در لیتر) در ۸۸ حوضه آبریز کشور برآورد گردیده و به تفکیک در شکل (۳-٤) ارائه شده است. طبق این نمودار حوضه آبریز شاپور – دالکی با توان آبدهی ۱۸۰ میلیون متر مکعب در سال آب‌های با املاح بیش از ۵ گرم در لیتر بالاترین ظرفیت بالقوه را داشته و حوضه‌های آبریز طالش و مرداب انزلی فاقد آب‌های زیرزمینی با املاح بیش از ۵ گرم در لیتر می‌باشند. کل آب‌های زیرزمینی با املاح بیش از ۵ گرم در لیتر (آبخوان‌های آبرفتی کشور) حدود ۱/۷۳ میلیارد متر مکعب تخمین زده شده است.



شکل ۳-۴- پتانسیل تقریبی آب‌های شور و لب شور زیرزمینی در حوضه‌های آبریز اصلی کشور

۴- نمونه‌هایی از بهره‌برداری از منابع آب شور در کشاورزی ایران و جهان

۴-۱- کلیات

تحقیقات پایه‌ای در زمینه استفاده از آب‌های شور در کشاورزی به چند دهه قبل برمی‌گردد و سابقه‌ای در حدود نیم قرن دارد. گردهمایی‌های بین المللی به عمل آمده نظیر یونسکو در پاریس به سال ۱۹۵۸، یونسکو در تهران به سال ۱۹۶۱ و تونس، یونسکو و یوان دی پی[1] (۱۹۷۰) و دریگن (۱۹۷۰)[2] و نیز دستورالعمل‌های ارائه شده که در سال‌های اخیر به صورت همایش اختصاصی از سوی فائو در ارتباط با موضوع "مدیریت آب، خاک و محصول در رابطه با بهره‌برداری از آب شور (فائو ۱۹۵۲)" و نیز چندین دستورالعمل در زمینه چگونگی استفاده از آب شور که در دهه جاری توسط رودز و همکاران (۱۹۷۷) و رودز (۱۹۹۹) منتشر شده، همگی در مجموع نشان می‌دهند که در سال‌های اخیر توجه بیشتری به کاربرد آب شور در کشاورزی شده است و این موضوع از اولویت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. بر همین اساس، تاکنون پژوهش‌های مفصلی در ارتباط با بهره‌برداری از آب‌های شور در تولید محصولات گوناگون کشاورزی در نواحی متعددی از جهان و اخیراً به طور مختصر و پراکنده در ایران در جریان است که در این بخش به پاره‌ای از آنها اشاره خواهد شد. این امر سبب خواهد شد که در پژوهش‌ها و برنامه‌ریزی از آب شور در توسعه کشت آبی ایران تجربیات و یافته‌های موجود و جدید هر چه بیشتر مورد استفاده قرار گیرد.

نمونه‌هایی از بهره‌برداری از آب‌های شور در اراضی فاریاب

در این بخش مثال‌هایی از استفاده از آب شور در تولید محصولات کشاورزی در مقیاس وسیع ونیز تعیین مشخصات کیفی آب‌هایی که در نواحی مختلف جهان و تحت شرایط اقلیمی، خاکی، تنوع گیاهی، سیستم و روش‌های مختلف آبیاری که با سایر عملیات مدیریتی متنوع که در آنها از آب‌های شور به نحو مناسب و کاملاً اقتصادی

---

1 - UNESCO and UNDP, 1970

2 - Dregen, 1970

مصرف می‌شوند، برگزیده شده‌اند تا با توجه به این انتخاب‌ها چگونگی استفاده از این آب‌ها در مقایسه با آب‌هایی با کیفیت مطلوب که تحت شرایط مشابه عملکرد رضایت بخش تقریباً یکسانی عاید می‌سازد و کاربرد آب‌های شور در کشاورزی روشن گردد. بیان این مطالب بار دیگر روشن می‌سازد که استفاده از نمونه‌ها که نماینده و حاصل آزمایشات در سطح جهانی است هنگامی سودمند است که کلیه اطلاعات مربوط به کیفیت آب، اقلیم، نوع خاک، نوع محصول، شیوه آبیاری و سایر روش‌های مدیریتی را در بر گیرد. مطالب این بخش و توجه به آنچه قبلاً اشاره شد کثرت آزمایشات انجام شده در زمینه مصرف آب شور در کشاورزی تحت شرایط مختلف را نشان می‌دهد و امکان استفاده سودمند و مؤثر از آب‌های شور را تحت مدیریت مدبرانه و صحیح برای محصولات سازگار با این آب‌ها روشن می‌سازد.

آنچه در زیر مورد بررسی قرار گرفته است نمونه‌ای از صدها مطالعاتی است که در کشورهای مختلف در زمینه بهره‌برداری موفق از آب‌های شور در کشاورزی صورت پذیرفته است.

آب‌های زیرزمینی با شوری متوسط نیز از جمله منابع با ارزش محسوب می‌شوند. رودز و همکاران (۱۹۹۲) مثال‌هایی از آب‌هایی با درجات و ترکیب متفاوت با شوری بیش از ۸ dS/m (معادل ۶۰۰۰ mg/lit نمک‌های محلول) را گزارش کرده اند که در مناطق متعددی از جهان به منظور آبیاری و تولید عملکرد مناسب مورد استفاده قرار گرفته است. این موضوع بیانگر این حقیقت است که تناسب آب برای آبیاری به میزان زیادی به نیاز و سود اقتصادی حاصل از آبیاری با آب شور در مقایسه با سایر عوامل و پارامترها بستگی دارد. مطالعات انجام شده در زیمبابوه نمونه‌ای از مطالعات انجام شده در ارتباط با کیفیت آب زیرزمینی در مناطق خشک با مدیریت مناسب می‌باشد. از طرفی می‌توان در بعضی مناطق چاه‌هایی را یافت که در آب‌های زیرزمینی کم عمق حفر شده و از آنها به منظور آبیاری مناطقی استفاده می‌شود که شوری آب زیرزمینی به طور معمول با عمق افزایش پیدا می‌کند. به منظور افزایش راندمان آبیاری با آب شور برای باغات، بچلور و همکاران (۱۹۹۶) در آبیاری باغات میوه به مقیاس کوچک به طریق آبیاری میکرو نظیر لوله‌های گلی نشان دادند که این روش‌ها در مقایسه با روش‌های تحت فشار پیشرفته ارجحیت دارد.

آبیاری به کمک لوله‌های میکرو (تحت فشار) با تکنولوژی پیشرفته محسوب شده و در صورت عدم دقت در طراحی با مشکلات مدیریتی، حساسیت کمتری را از خود بروز می‌دهد. افزایش عملکرد و نیز بهبود راندمان کاربرد آب در آبیاری تحت‌الارضی از اهمیت قابل توجهی برخوردار می‌باشد. چنین تمهیداتی در آبیاری به کمک آب‌هایی با کیفیت پایین بیشتر مدنظر می‌باشد. در پراکنش نمک تفاوت‌هایی مشاهده می‌شود اما در منطقه رشد ریشه که تحت روش‌های متفاوت آبیاری می‌باشند نباید میزان نمک از حد مجاز فراتر رود.

۴-۲- آفریقا

زیمبابوه

تحقیقاتی که در زیمبابوه انجام پذیرفته است یک نمونه از روش‌های استفاده از آب زیرزمینی محسوب می‌شود. شوری موضعی می‌تواند به دلیل زمین‌شناسی منطقه باشد. از طرفی میزان بارندگی کم و تبخیر بالا سبب کاهش حرکت آب در قسمت‌های اشباع و غیر اشباع خاک شده است. نمک حاصل از عمل هوادیدگی و عمل معدنی شدن نیز می‌تواند وارد آبخوان‌ها شود. پیش‌بینی محل این آبخوان‌های شور بدون انجام عمل حفاری مشکل است اما در مناطق خشک زیمبابوه تقریباً بیش از نصف چاه‌های حفر شده درجاتی از شوری را نشان داده‌اند.

کشت سبزیجات در فصول سرد وخشک زمستان در زیمبابوه انجام می‌شود. آب‌های زیرزمینی این منطقه دارای ECهایی با دامنه ۰/۵-۵dS/m می‌باشند. این آب‌ها دارای پتانسیل خوبی برای تولید محصولات می‌باشند. چاه‌های حفر شده مقدار آب کافی را به منظور استفاده روزمره و آبیاری قطعات کوچک تأمین کرده و در مناطقی که شوری آب زیرزمینی با افزایش عمق زیاد می‌شود، مصرف آب‌های نامبرده از ارزش بالایی برخودار است.

تونس

تونس از جمله کشورهای آفریقایی است که با کمک مالی از صندوق سازمان ملل و همکاری با یونسکودر دسامبر ۱۹۶۲ با تأسیس مرکز تحقیقات بهره‌برداری از آب شور در کشاورزی (CRUEST) با دو هدف اساسی تحقیقات و تربیت کارشناس و

تکنسین که هر یک به دیگری وابسته است، طی سال‌های ۱۹٦۲ تا ۱۹٦۹ موفق به پژوهش‌هایی در زمینه تهیه استاندارد کردن آب‌های شور مصرفی و شرایط لازم از نظر رعایت نکات مربوط به کشت و کار و انجام عملیات زراعی مخصوص بهره‌برداری از آب شور در خاک‌ها و فصول زراعی مختلف گردیدند. اهداف اولیه مطالعات که در گزارش یونسکو و یو ان دی پی مورخ ۱۹۷۰ ذکر گردید عبارت است از :

۱- بررسی وضعیت شوری خاک از نظر حفظ درجه شوری تا میزان قابل قبول.
۲- بررسی مقاومت و واکنش محصولات مختلف زراعی به شوری و مقدار آب آبیاری.
۳- تعیین مدل آبیاری و زهکشی تحت شرایط استفاده از آب شور برای محصولات زراعی متداول در تونس.

از نظر انتخاب نوع خاک شامل درجات مختلف بافت از سبک تا سنگین، شوری آب آبیاری به کار رفته نیز از dS/m ۹-۳ (معادل ٦۰۰۰mg/l تا۲۰۰۰ برحسب TDS) با نسبت جذبی سدیم (SAR) متغیر، از حد بی خطر تا نسبتاً زیاد (بین ٦ تا۲۵) و میزان بر ناچیز (B)، بارش سالیانه در ایستگاه‌های آزمایش بین ۲٤۰mm - ۹۰ متغیر می‌باشد. البته بیشتر نزولات از نوع زمستانی است.

نتایج حاصل از کاشت محصولات کشاورزی مختلف در تناوب زراعی اراضی فاریاب نمونه در ایستگاه‌های کشاورزی پس از گذشت چهار سال بدین قرار بوده است:

۱- خصوصیات و ترکیب مشخصات خاک اراضی فاریاب، به غیر از اثر تناوبی مربوط به محصولات زراعی، به حد تعادلی پایدار رسیدند.
۲- مسئله سدیمی در خاک‌های مزبور قابل توجه نبود.
۳- از باران‌های موسمی زمستانه که خاک را به حالت مرطوب در می‌آورد برای راندمان بهتر در برنامه آبشوئی خاک می‌توان به طور شایسته بهره‌برداری کرد (این نکته قابل ذکر است که در اراضی ساحلی تونس برعکس غالب نواحی

مشابه در مناطق نیمه خشک، بارش‌های جوی عموماً سنگین بوده و به علاوه به صورت رگبارهای متواتر زمستانی است). در مجموع می‌توان گفت که با اعمال اقدامات احتیاطی مربوط به مصرف آب‌های شور از چاه‌های مورد آزمایش، در کلیه موارد نتایج عملکرد محصول حاصل از کاربرد این آب‌ها رضایت‌بخش بوده است. گرچه میزان برداشت محصول بالطبع قدری کمتر از میزان محصولی است که با آبی باکیفیت مطلوب آبیاری شده است، اما در مجموع نتایج حاصل از کلیه آزمایشات گواه بر این نکته است که مسئله شوری آب آبیاری تحت شرایط مزبور نمی‌تواند به صورت یک مشکل لاینحل تلقی گردد.

اثر نامطلوب شوری آب فقط به تأثیر آن در رابطه با محصولات تابستانی بر می‌گردد، نه به گیاهانی که در زمستان و یا اوایل بهار کشت می‌شوند. زیرا گیاهانی که در پاییز و یا اوائل بهار کاشته می‌شوند چون با باران‌های مربوط به این موسم مواجه می‌شوند، از شدت شوری آب خاک کاسته شده و بنابراین گیاهک با مسئله شوری روبرو نمی‌شود. از موارد بسیار مهم که شاید تا به حال در بررسی‌های اثر شوری آب آبیاری در اراضی فاریاب کمتر به آن توجه شده است موضوع مراحل جوانه‌زنی و نیز دوره آغازین رشد و نمو گیاهی است (به ویژه مرحله دوم که در موفقیت زراعت از نظر سبز شدن و استقرار بوته در واحد سطح و به ثمر رسیدن محصول از عمده‌ترین مراحل بازدارنده در رابطه با بهره‌برداری از آب شور به شمار می‌آید). در این رابطه شاید ذکر این نکته مفید باشد که در مرحله اولیه جوانه‌زنی و رشد، وضعیت فیزیکی لایه سطحی خاک در رابطه با سله و فشردگی آن نقش اساسی دارد که وابسته به روش‌های آبیاری و عملیات خاک‌ورزی می‌باشد که باید از نظر مدیریت بهره‌برداری از آب شور مورد توجه بیشتر قرار گیرد. از موارد مهم دیگر توجه به وضعیت تهویه خاک‌های فاریاب تحت کشت و کار با آب‌های شور است که چون غالباً از حجم بیشتری از آب استفاده می‌شود، مسئله مربوط به تهویه باید مدنظر قرار گیرد.

مصر

مصر کشوری است خشک که در شمال آفریقا واقع شده است با آب و هوائی خشک، با رگبارهای پراکنده باران که به روش دیم تولید محصولات کشاورزی در آن به سختی انجام می‌شود. کشاورزی این کشور عمدتاً به کمک آبیاری انجام شده و به کمک رود نیل (با حجم آبی معادل ۵۵/۵ میلیارد متر مکعب در سال) انجام می‌گیرد. این کشور برای تأمین نیازهای جمعیت رو به رشد (با نرخ ۲/۷ درصد) و گسترش کشاورزی آبی خود مجبور شده است که از تمام منابع آبی موجود استفاده نماید (آب‌های زهکشی، آب‌های زیرزمینی و فاضلاب‌های پالایش شده).

دولت مصر تلاش می‌کند که زه‌آب‌های با شوری بیش از dS/m ٤/٥ را پس از مخلوط نمودن با آب شیرین رود نیل و رسانیدن شوری این مخلوط به dS/m ١ مصرف نماید. میزان زه‌آبی که این کشور در حال حاضر و هر ساله به منظور آبیاری مصرف می‌کند حدود ٤/٧ میلیارد متر مکعب می‌باشد. حجم اصلی این زه‌آب‌ها در بخش علیای دلتای رودخانه نیل حاصل می‌شود که در بخش سفلی نیل برای آبیاری استفاده می‌شود و تلاش بر این است که این مقدار را تا سال ۲۰۰۰ به هفت میلیارد متر مکعب در سال افزایش دهند (آمار سال ۱۹۹۲).

در دلتای شمالی، جایی که منبع آبی با کیفیت مناسب‌تر وجود ندارد، استفاده مستقیم از زه‌آبی با شوری بین dS/m ۳-۲ به منظور آبیاری، امری رایج است. کشاورزان در برخی از این مناطق متجاوز از ۲۵ سال از زه‌آب‌ها برای آبیاری بیش از ۱۰۰۰۰ هکتار زمین با استفاده از شیوه‌های سنتی و مرسوم خود استفاده کرده‌اند. یکی دیگر از سیاست‌هایی که در این منطقه برای استفاده بهینه از آب‌ها دنبال شد براساس میزان تحمل گیاهان به شوری بود به این ترتیب که گیاهان حساس به شوری (مثل ذرت، فلفل، پیاز، یونجه و غیره) را به طور متناوب با آب شیرین نیل، محصولات مقاوم به شوری (مثل گندم، پنبه، چغندرقند و غیره) را مستقیماً با آب زهکشی و گیاهان نسبتاً حساس (مثل گوجه فرنگی، کاهو، سیب زمینی و آفتابگردان) را با آب زهکشی، پس از استقرار ریشه و گیاهچه با آب شیرین، آبیاری می‌کنند. بر

همین اساس طرحی برای احیاء۴۰۰۰ هکتار از اراضی مصر با بهره‌گیری از آب‌های زهکشی در دست تهیه و مطالعه بوده که احتمالاً تاکنون به مرحله اجرا در آمده است.

طبق برآوردهای انجام شده در حال حاضر در دره نیل و دلتا هر ساله به میزان ۲/۶ میلیارد متر مکعب آب با متوسط شوری ۱/۵ dS/m (و حداکثر تا ٤ dS/m) از منابع آب زیرزمینی جهت مصارف کشاورزی، صنعتی و خانگی برداشت می‌شود. طبق تخمین‌های به عمل آمده این مقدار در سال ۲۰۱۰ به ٤/۹ میلیارد متر مکعب خواهد رسید. ده‌ها سال است که در این مناطق از آب شور زیرزمینی با شوری ٤-۲ dS/m به خوبی و با موفقیت برای آبیاری انواع محصولات کشاورزی در سطح وسیع و در مزارع پراکنده استفاده شده است. محصولاتی که عمدتاً کشت می‌شوند شامل علوفه، غلات و سبزیجات می‌باشد.

به منظور کاهش حجم زه‌آب‌ها و به حداقل رسانیدن آلودگی آب‌ها ونیز سالم سازی زه‌آب نهایی و غیر قابل بازیافت، استراتژی‌های جدیدی توسط مسئولین و مقامات دولتی اتخاذ گردیده که بعضاً شامل موارد زیر می‌باشد:

۱- استفاده از چشمه‌های جاری طبیعی در آبیاری محصولات زمستانه مثل غلات و نباتات علوفه‌ای.
۲- استفاده از آب‌های شور با شوری بیش از ٥ dS/m جهت آبیاری محصولات مقاوم به شوری مثل جو، چغندر قند، ماشک و غیره.
۳- استفاده از زه‌آب‌هایی که از نظر بیولوژیکی فعالند برای تولید و پرورش درختان و بادشکن‌ها.
٤- استفاده از زه‌آب‌ها در تثبیت شن‌های روان یا تپه‌های ماسه‌ای.
٥- استفاده مجدد از آب‌های زهکشی (با شوری متوسط ٦ dS/m و SAR=۱۰-۱٥) پس از اختلاط با آب‌های شیرین و با کیفیت خوب یا با استفاده متناوب از آب‌های شور و شیرین.

در این مناطق بافت خاک شنی، لوم سیلتی تا رسی با کربنات کلسیم بین ۲۰-۲ درصد و ماده آلی خیلی کم، تغییر می‌کند. محصولات اصلی در این اراضی شبدر،

برسیم، برنج، گندم، جو، چغندر قند و پنبه می‌باشد. کاهش عملکرد در منطقه بین ۳۰-۲۵ درصد بوده و این میزان کاهش معمولی تلقی می‌شود. دلایل کاهش عملکرد در این مناطق را آب گرفتگی و شور شدن خاک‌ها (به دلیل آبیاری بیش از حد و عملیات نامناسب و مدیریت ضعیف آب و خاک) می‌دانند.

مطالعات انجام شده در منطقه کفر[1] نشان می‌دهد که با اعمال شیوه‌های صحیح مدیریت (از جمله انتخاب گیاه مناسب، استفاده از مواد اصلاح کننده در خاک، شخم عمیق، انجام عملیات شخم برای تهیه بستر، تسطیح اراضی، کوددهی به موقع، حداقل نیاز آبشوئی، استفاده از مالچها و اضافه کردن مواد آلی) می‌توان زه‌آب‌هایی با شوری dS/m ۲/۵-۲ را بدون هیچگونه خطری در دراز مدت برای خاک یا گیاه مورد استفاده قرار داد جدول (٤-١).

متوسط سالیانه و قابل استفاده از حجم زه‌آب در منطقه فای‌گوو[2] در حدود ٦٩٦ میلیون متر مکعب می‌باشد که هم اکنون از این مقدار حدود ۳۵۰ میلیون متر مکعب آن هر ساله پس از اختلاط با آب کانال مورد استفاده قرار می‌گیرد.

نتایج حاصل از آزمایش به عمل آمده در بخش ایبشوی[3] در سال‌های ۱۹۸۵ تا ۱۹۸۷ در ارتباط با مصرف مستقیم و بازیافتی زه‌آب (شوریdS/m ۲/۸) در جدول (٤-٢) ارائه شده است.

بر اساس گزارش ال هاواری و همکاران (۱۹۹۸) روند مصرف زه‌آب‌های مضاعف زهکشی از دهه سال‌های هشتاد از ٢/٦ بیلیون مترمکعب در سال به ٤/٢ در سال‌های نود و به نظر می‌رسد تا آخر دهه نود به میزان ۷ بیلیون برسد. از آنجا که مصرف زه‌آب‌های مضاعف با گذشت زمان، مقادیر املاح محلول، یون‌های سمی، فلزات سنگین و بقایای مواد آلی در آنها رو به افزایش می‌باشد، از اینرو به علت ورود آنها در چرخه محصولات زراعی مصرفی تهدید کننده بوده و بنابراین دقت و توجه بیشتر در مصرف این گونه آب‌ها الزامی می‌باشد.

1- Kafr

2- Fay Gov

3- Ibshwi

جدول ٤-١- عملکرد محصولات عمده در منطقه کفر آبیاری شده با زه‌آب‌های شور

آب آبیاریds/m	متوسط عملکرد (تن در هکتار)				
	برنج	شبدر برسیم	جو	پنبه	کدو
زه‌آب منطقه Kafr EC=2-2.5 dS/m	۸	۱۵۰	–	–	–
زه‌آب منطقه eheira EC=2-2.5	۸/۲	۱۵۵	۳/۷	۱/۹	۳۳۰
آب شیرین رود نیل EC= 0.4 dS/m	۸/۵	۱٦۰	۳/۷	۲/.	۳۵۰

مأخذ: رودز و همکاران، ۱۹۹۲

جدول ٤-۲- تأثیر مقادیر مختلف شوری آب آبیاری روی رشد محصولات اصلی در منطقه ایبشوی مصر

منبع آب آبیاری شوری بر حسب dS/m	دانه خشک گندم	پیاز	ذرت	گوجه تابستانه	گوجه زمستانه	فلفل
زه‌آب SAR=22,EC=2.8	۵/۰	٦/۵	۱/۸	۲/۵	۸/۰	۱۲/۵
آب شیرین نیل در ابتدا (برای کشت نهال) و سپس استفاده از زه‌آب	۳/۰	٦/۵	۲/۰	٤/۰	۸/۷	۲۰/۰
آب شیرین نیل SAR=4, C=0.5	۵/۰	۹/۷	۲/۵	۷/۵	۱۲/۵	۲۵/۰

مأخذ: رودز و همکاران، ۱۹۹۲

۴-۳- قاره آسیا

فلسطین اشغالی

در طی ۲۵ سال گذشته در نواحی مختلفی از این کشور به ویژه بیابان‌های مرتفع به میزان قابل توجهی از آب‌های شور جهت آبیاری محصولات کشاورزی استفاده شده است. شوری اکثر آب‌های زیرزمینی در این کشور بین ۲-۸dS/m (حدود۱۲۰۰-۵۶۰۰ mg/l برحسب TDS) تغییر می‌کند. متوسط تبخیر و تعرق در این نواحی حدود ۲۰۰۰۰ m^3/ha (۲۰۰۰ mm) بوده، متوسط باران سالیانه در بیش از نصف مساحت این کشور از ۲۰۰mm تجاوز کرده و در اکثر مناطق کشاورزی به حدود ۵۰۰ mm (در دشت‌های ساحلی به ۶۰۰ mm) می‌رسد که بیشترین مقدار بارش در فصل زمستان است. شرایط اقلیمی از نوع مدیترانه‌ای با تابستان‌های خشک و نسبتاً گرم (از آوریل تا مارس) می‌باشد. در بیشتر مناطق این کشور به ویژه در مناطق ساحلی شبنم بسیار زیادی حاصل و تشکیل می‌شود. روش‌های آبیاری مورد استفاده عمدتاً قطره‌ای و یا بارانی است. بافت این خاک‌ها کلاً شنی با نفوذپذیری مناسب و دارای زهکشی طبیعی خوبی می‌باشد. بیشتر آب‌های شور وارد شبکه‌های انتقال اصلی شده و قبل از مصرف رقیق می‌شوند. در مواردی که گیاهان با سیستم بارانی آبیاری می‌شوند برخی از آنها موقع روئیدن از خاک با مشکل سله مواجه شده و دچار آسیب می‌شوند. به منظور آبشوئی املاح، معمولاً مقداری آب (معادل ۳۰-۲۰ درصد آب آبیاری در مواقعی که تبخیر و تعرق شدید است) به خاک داده می‌شود. بر اساس توصیه‌های محققین این کشور، خاک‌های دارای بافت سبک و متوسط را می‌توان با هر آب شوری که گیاهان مقاوم، تحملش را داشته باشند، آبیاری نمود. نتایج مطالعات اخیر نشان می‌دهد که گیاهانی نظیر هندوانه، گوجه فرنگی و سیب زمینی در این اراضی شنی بیابانی عملکرد رضایت بخشی را به همراه داشته است. تحت شرایط شوری نسبتاً زیاد کاهش عملکرد هندوانه و گوجه فرنگی از طریق کاهش در اندازه میوه بروز می‌کند که با روش‌های مدیریت خاص آبیاری و انتخاب واریته‌های مقاوم بهبود می‌یابند.

در خاک‌های سنگین نیز می‌توان از آب‌هایی با شوری حداکثر بین dS/m ۵/۵-۳/۵ که مجهز به سیستم شبکه‌های مصنوعی زهکشی می‌باشند استفاده کرد (اضافه کردن گچ به این آب‌ها توصیه شده است).

در منطقه ناهالوز گیاه پنبه به صورت اقتصادی و به خوبی با آب شور تحت‌الارضی با SAR = 26, EC = 5 dS/m رشد کرده است. خاک بستر این محصول رسی سیلیتی بوده که با استفاده از گچ و آب‌های شیرین شبکه اصلی (معمولاً در طول زمستان) تا عمق ۱۸۰-۱۵۰ سانتیمتری خاک را قبل از کشت به حد ظرفیت مزرعه (FC) می‌رسانند (رودز و همکاران ۱۹۹۲).

همچنین طبق مطالعات انجام شده در سال‌های اخیر که بر روی خاک‌های لومی انجام گرفته است آبیاری با آبی با EC=6.2dS/m سبب کاهش عملکرد گوجه فرنگی تا ۲۰ درصد شده ولی بر میزان ماده خشک میوه اثری نداشته است.

گیاه هندوانه را در اواخر تابستان و در طی فصل پاییز با استفاده از آب‌های شور به عمل می‌آورند. اگر نوع واریته‌ای هندوانه مورد استفاده مناسب باشد می‌توان عملکرد بالائی را به دست آورد. براساس تحقیقات به عمل آمده این گیاه دارای واریته‌های حساس به شوری تا تقریباً مقاوم به شوری می‌باشد. در واریته‌های رقم گالیا افزایش شوری سبب افت عملکرد می‌شود اما کیفیت داخلی میوه بهبود پیدا می‌کند. گرچه این امر سبب کوچکتر شدن اندازه میوه می‌شود اما تعداد میوه‌ها افزایش می‌یابد.

پاکستان

در این کشور در حدود ۱٤ میلیون هکتار زمین زراعی تحت کشت آبی، وجود دارد که برای آبیاری آن بیش از ۱۳۰ میلیارد متر مکعب آب مصرف می‌کند. به منظور تحقق هدف افزایش محصول در واحد سطح علاوه بر استفاده از مقدار زیادی آب شیرین باید راندمان آب را نیز بهبود بخشید. توسعه تکنولوژی بهره‌برداری از زه‌آب‌های زیرزمینی و سطحی شور نه تنها سبب افزایش منابع آب آبیاری مورد نیاز گردیده است بلکه سبب کاهش تخریب محیط زیست نیز شده است.

این کشور با این وسعت اراضی آبی در ردیف پنجمین کشور در جهان قرار گرفته است. البته نظر به سابقه چندین هزار ساله زراعت آبی در نواحی سند و پنجاب که جمعاً وسیع‌ترین دشت آبی جهان را در برمی‌گیرد در اکتبر ۱۹۸۷، سطح ایستابی در این نواحی وسیع و دو منطقه دیگر در کمتر از سه متر، بین سه متر و شش متر و بیش از شش متر به ترتیب به وسعت ۸۸۰۰۰۰۰، ۵۲۰۰۰۰۰ و ۲۵۰۰۰۰۰ هکتار می‌رسد. یعنی ۵۳٪، ۲۸٪ و ۱۵٪ از اراضی آبی به ترتیب دارای سطح ایستابی بین ۳-۰، ٦-۳ و بیش از ٦ متری بودند که به تبع مسئله شوری و سدیمی آب و خاک و شدت مسائل مربوطه را که $\frac{۱}{۳}$ از کل اراضی را فرا گرفته بودند روشن می‌کند. از اینرو بهره‌برداری از زه‌آب‌های برگشتی کشاورزی در این مناطق مبتلا هم در بهسازی اراضی و هم در جهت کاربرد از منابع جدید آب امری الزامی است. در نتیجه هزاران هکتار از اراضی کشاورزی از این منابع آبی بهره‌مند می‌شوند. تا جاییکه کشت درختان اوکالیپتوس از نوع *Eucalyptus-c Camaldvlesis* با آب EC=2dS/m و SAR=13.3 در خاک شور سدیمی محصول رضایتبخش می‌دهد. از محصولات زراعی کاشت برنج مقاوم به شوری در اراضی غرقابی و گندم مناسب منطقه نیز رونق دارد.

هندوستان

به نقل از رودز (۱۹۹۲)، کمبود آب در سطح وسیع و غرقابی شدن خاک توسط آب شور دو مشکلی هستند که اراضی فاریاب هندوستان با آن مواجه هستند. به منظور ایجاد حالتی بهینه در زهکشی زیرزمینی و کنترل حالت غرقابی در مناطق مختلف پروژه‌ها و مطالعات چندی انجام شده است. بعد از انجام اصلاح خاک، مطالعات صحرایی چندی به منظور توسعه و تکامل تکنولوژی مربوط به کاربرد مجدد زه‌آب‌های شور انجام پذیرفته است. کاربرد همزمان زه‌آب‌ها و آب‌هایی با کیفیت مطلوب در مراحل مختلف رشد و روش‌های به کار برده شده نتایج رضایت بخشی را به همراه داشته است. آبشویی توسط باران و یا استفاده از آب‌هایی با شوری‌های بیشتر در این مناطق از جمله پیشنهاداتی می‌باشند که در این زمینه

می‌توان ارائه داد. در همین راستا در مناطق مختلفی از هندوستان با اقلیم خشک و نیمه خشک مطالعاتی در زمینه استفاده از زه‌آب‌های شور و آب‌های شور به منظور آبیاری محصولات زمستانی انجام گرفته است. براساس نتایج به دست آمده از آب‌های شور و زه‌آب‌هایی با سطوح مختلف شوری، می‌توان به منظور آبیاری زمستانه (به طور مستقیم) ویا اختلاط با آب کانال‌ها و یا استفاده متناوب از این هر دو آب، استفاده نمود.

نمونه‌برداری مکرر از EC_e نشان می‌دهد که بعد از باران‌های فصلی و موسمی، شوری خاک به حدی رسیده است که تولید مستمر محصولات امکان‌پذیر شده است. میزان کل بارندگی فصلی و زهکشی زیرزمینی دو پارامتری هستند که میزان نمک آبشوئی از نیم رخ خاک و نحوه رشد محصولات را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در مناطق خشک و نیمه خشکی که آب‌هایی با کیفیت مناسب وجود دارد ولی میزان آن کافی نیست، استفاده از آب شور و یا زه‌آب شور نه تنها کشاورزی فاریاب را گسترش می‌دهد بلکه میزان تلفات آب زهکشی مورد نیاز را کاهش داده و نقصان تخریب زیست محیطی را نیز به همراه دارد.

در قسمتی از اراضی توسعه یافته، بعد از طی ۱۵-۱۰ سال از انجام آبیاری سطحی، مشکلات مربوط به غرقابی شدن و شور شدن خاک مشهود گردید. در این مورد، زمان عامل مهمی محسوب می‌شود. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که عدم زهکشی کافی می‌تواند یکی از عوامل گسترش سریع این معضل باشد. زهکشی افقی زیرزمینی از جمله راه‌حل‌های پیشنهادی می‌باشد. حدود ۳۵- ۳۰ هزار هکتار از اراضی هندوستان در طی ۳-۲ سال آینده تحت زهکشی افقی تحت‌الارضی قرار خواهند گرفت (رودز ۱۹۹۲).

از جمله مشکل دیگری که مطرح می‌شود، مشکل مربوط به خروج زه‌آب‌های زیرزمینی است. به منظور حل مشکل نشت زه‌آب‌ها راه‌حل‌های چندی ارائه شده است. این راه‌حل‌ها را در سه گروه می‌توان خلاصه کرد:

۱- استراتژی‌هایی که سبب به حداقل رسانیدن نشت زه‌آب‌ها می‌گردد.
۲- استراتژی‌هایی که به کمک آن زه‌آب‌های نشت یافته در منطقه‌ای جدید مورد استفاده مجدد قرار می‌گیرند.
۳- استراتژی‌هایی که به کمک آن آب را از منطقه به مخازن تبخیر و یا محل مناسبی تخلیه می‌کنند.

در مناطقی با بارندگی‌های موسمی، به کمک آبشوئی اراضی شور، آب‌هایی با شوری بالا را در جریان توسعه و بهره‌برداری قرار می‌دهند.

در حالت اول، راه کارهایی را که می‌توان اعمال کرد عبارتند از : مدیریت آب در مزرعه، طراحی سیستم زهکشی و اجرای آن، راندمان زهکشی یا وضعیت طراحی زهکشی.

در حالت دوم، تکنیک‌های مورد استفاده عبارتند از: انتخاب محصولات، روش‌های آبیاری و کاربرد همزمان.

درحالت سوم، راه کارهای پیشنهادی عبارتند از: ورود به رودخانه، مخازن تبخیری و دریا.

البته در قسمت‌هایی از هند محصولات در شرایطی کاملاً متفاوت از شرایطی که درمناطق نیمه خشک وجود دارد به خوبی رشد می‌کنند. دو تن از محققین (گوپتا و پارا) در ۱۹۸۱ تحقیقات و آزمایشات متعددی را که در این راستا انجام شده بود خلاصه نمودند. بیشترین استفاده از آب شور به منظور آبیاری در مناطقی از هندوستان انجام می‌پذیرد که باران‌های موسمی نیز وجود داشته باشد. در این مناطق بدون این که شوری خاک به مدت طولانی تأثیرات سوء خود را بر جای گذارد، می‌توان از آب شور به منظور آبیاری بهره گرفت. دلیل این امر را می‌توان آبشوئی بیش از حد باران فصلی در این مناطق ذکر کرد.

مطالعات صحرایی انجام شده طی سال‌های ۱۹۸۵-۱۹۸۳ نشان می‌دهد که کاربرد وسیع آب‌های زیرزمینی شور کم عمق (با پمپاژ m^3 ۱۰٤۰۰۰ آب از چاه‌های کم عمق مساوی با ۱۰٦۰۰۰ هکتار متر آب در سال) در مناطقی انجام پذیرفته است. در ۹ منطقه از نواحی هندوستان از آب زیرزمینی شور با EC بیشتر از ۸ dS/m در ایالت

ماریانا استفاده شده است. در ٤ منطقه از این مناطق، آب شور تنها به منظور آبیاری استفاده گردید. در حالی که در ٥ منطقه دیگر بعد از اختلاط با آب شیرین یا مخلوط شدن با آب کانال مورد استفاده قرار گرفت. در این مناطق متوسط بارندگی بین mm ۱۱۰۰-۳۰۰ و بافت خاک لوم شنی می‌باشد. بعلاوه در این مناطق کاهش عملکرد بین ۳۰ تا ٤۰ درصد از سوی کشاورزان پذیرفته شده است.

جدول ٤-۳- میزان عملکرد محصولات (٪) و میزان شوری آب آبیاری در منطقه ماریانا، هندوستان

شوری آب آبیاری (dS/m) / گیاه	عملکرد (٪)		
	٤-۲	٦-٤	۸-٦
پنبه	۱۰۰	۷۰	٥٥
ارزن	۱۰۰	۷۹	٥۲
گندم	۱۰۰	۸۹	٦۰
خردل	۱۰۰	۸٦	٦۷
متوسط	۱۰۰	۸۱	٥۹

مأخذ: بومانز و همکاران، ۱۹۸۸[1]

مطالعات انجام شده مبین این است که در EC ٦ تا ۸ دسی زیمنس بر متر، ارزن دارای بیشترین کاهش عملکرد و خردل دارای کمترین کاهش عملکرد بوده است (جدول ٤-۳).

۴-۴- قاره اروپا

یوگسلاوی

با توجه به کاهش روزافزون آب‌هایی با کیفیت مناسب در این کشور، زه‌آب‌هایی با کیفیت مختلف هر روز بیش از پیش در یوگسلاوی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

1- Bomanz et al., 1988

طبق مطالعات هواشناسی انجام شده در ایالت وجودینا[1]، متوسط بارندگی ۵۰ ساله این منطقه ۶۰۰ mm و میزان بارندگی در فصل رشد ۳۴۰ میلیمتر بوده است. اکثر محصولات کشت شده در این منطقه دارای ET_P بین ۵۰۰ تا ۷۰۰ می‌باشند. در طی فصل تابستان زمانی که گیاهان حداکثر نیاز به آب را از خود نشان می‌دهند، متوسط روزانه درجه حرارت هوا ۲۵-۲۰ درجه سانتیگراد و حداکثر آن ۴۰-۳۰ درجه سانتیگراد می‌باشد. در این ماه‌ها گیاهان به بیش از ۵۰ درصد نیاز آبی خود احتیاج دارند در صورتی که بارندگی تنها ۵۰-۲۰ درصد نیاز کل را بر آورده می‌سازد. باقیمانده میزان مورد نیاز از طریق آبیاری فراهم می‌شود که در این حالت نمک‌ها در سطح خاک تجمع پیدا می‌کنند. در طی فصل زمستان، میزان بارندگی آنقدر زیاد نمی‌شود که تا عمق ۱۵۰-۱۰۰ cm مرطوب گردد. این امر سبب می‌شود که نمک اضافی از منطقه توسعه ریشه خارج شود. در این زمینه ویچ (۱۹۹۲) اهمیت افزایش میزان آب در آخرین آبیاری در طی فصل را یادآور شده است. بهترین حالت زمانی است که نمک‌ها به زیر منطقه ریشه انتقال یابد. در خاک‌های سنگین، لایه‌ها دارای مقدار زیادی نمک می‌باشند. زمانی که سطح سفره آب زیرزمینی بالا می‌آید، ممکن است نمک‌ها وارد منطقه رشد ریشه شوند. این عمل معمولاً در اوائل فصل رشد اتفاق می‌افتد. عموماً، در مناطق پست، آب زیر زمینی اطراف به سطح خاک نزدیک می‌شود و مسئله خاک‌های شور و غرقابی را به همراه دارد.

با توجه به محاسبات انجام شده و همبستگی‌های چند متغیره و رگرسیون چند متغیره می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که کیفیت آب آبیاری به طور معنی‌داری تحت تأثیر خواص شیمیائی و غلظت نمک‌های خاک می‌باشد. آب‌های آبیاری که دارای EC_w و SAR بالا و مقادیر معتنابهی Na^+، Cl^-، SO_4^{--} می‌باشند، برای خاک و گیاه مضر هستند. در سیستمی که از این آب‌ها استفاده شده است، افزایش خواص شیمیائی آب بخصوص SAR, EC_e، کلرید و سولفات بسیار آشکار بوده و مطالعات وسیعی در این خصوص صورت گرفته است که به نوبه خود در مدیریت خاک‌های فاریاب نواحی زیر کشت بسیار سودمند است.

1- Vojvodina

۴-۵- قاره آمریکا

ایالات متحده آمریکا

در ایالات متحده آمریکا از آب‌های شور در طی ۷۵ الی ۱۰۰ سال گذشته در مناطق متعددی و در بخش جنوب غربی این کشور استفاده شده است. از جمله این مناطق می‌توان به دشت رودخانه آرکانزاس در کلرادو، دشت رودخانه شور در آریزونا، دشت رودخانه ریوگراند و پیکاس در نیو مکزیکو و غرب تگزاس اشاره داشت. محصولات عمده‌ای که در این مناطق کشت می‌شوند عبارتند از: پنبه، چغندر قند، یونجه و غلات دانه‌ریز.

در دشت پیکاس در غرب تگزاس میزان کل مواد جامد حل شده (TDS) در آب‌های زیرزمینی حدود mg/l ۲۵۰۰ می‌رسد و در طی سه دهه گذشته برای آبیاری ۸۱۰۰۰ هکتار از اراضی مورد استفاده قرار گرفته است. در این مناطق میزان بارندگی سالیانه کمتر از ۳۰۰ میلیمتر می‌باشد که بیشتر آنها به صورت رگبارهای کمتر از ۲۵ میلیمتر روی می‌دهد. در این دشت محصولات عمده‌ای که کاشته می‌شوند عبارتند از: پنبه، غلات دانه‌ریز، سورگوم غله‌ای و یونجه. میزان کربنات کلسیم معادل این خاک‌ها بین ۳۰-۲۰ درصد، pH آن بین ۸/۳ –۷/۵ می‌باشد. این خاک‌ها از لحاظ مواد آلی فقیر بوده و دارای ساختمان ضعیفی می‌باشند. بافت خاک از سیلیتی- لوم تا لوم- رسی تغییر می‌کند. متوسط سرعت نفوذپذیری خاک‌ها در حدود ۰/۵ سانتیمتر در ساعت می‌باشد. خاک‌ها دارای زهکشی داخلی خوبی بوده و سفره آب زیرزمینی در عمق ۳ متری سطح زمین قرار دارد.

در این منطقه می‌توان پنبه را به نحو موفقیت آمیزی با آب‌های گچی که EC آنها بالغ بر dS/m ۸ می‌باشد کشت نمود. در این مورد دو روش که عبارتند از: (۱) استفاده از آبیاری سطحی با شیارهای یک در میان و کاشت دو ردیفه بر پشته‌های عریض (۲) استفاده از کاشت تک ردیفی بر پشته‌های باریک و آنگاه پخ کردن بالای پشته‌ها به منظور جلوگیری از ایجاد سله‌های نمکی قبل از مرحله جوانه‌زنی بذر، وجود دارد. آبیاری پنبه با استفاده از آبی با EC بیشتر از ۵ توسط سیستم‌های آبیاری بارانی، در طول شب و یا قبل از طلوع و بعد از غروب آفتاب صورت می‌گیرد.

در مورد یونجه و اقسام علوفه‌های دیگر از آب‌هایی با EC بین ۳ تا ۵ استفاده می‌شود.

اغلب محصولات زراعی در غرب تگزاس به روش شیاری آبیاری می‌شوند. هنگامی که آب شور به هر شیار داده می‌شود، بالاترین تجمع نمک بر روی نوک پشته‌ها و حداقل تجمع در زیر شیارها صورت می‌پذیرد. در اغلب موارد انباشته شدن نمک بر روی پشته‌ها موجب از بین رفتن بذرها و کاهش میزان جوانه‌زنی می‌گردد. در منطقه ترنس- پیکاس به منظور به حداقل رساندن میزان تجمع نمک، از آبیاری یک در میان شیارها استفاده می‌شود. با استفاده از این روش، نمک‌ها به طرف شیارهای آبیاری نشده رانده می‌شوند. این روشی است که به صورت آبیاری اولیه در منطقه هادسپت مورد استفاده قرار می‌گیرد. بعد از این مرحله تمامی شیارها آبیاری می‌شوند تا از انباشته شدن بیش از حد در زیر شیارهای خشک جلوگیری به عمل آید. تسطیح نوک تک ردیفی با زنجیر و یا میله فلزی، اندکی پیش از مرحله جوانه‌زنی به منظور جلوگیری از صدمات ناشی از سله نمک به جوانه بذرها، در منطقه الپاسو رایج می‌باشد. با استفاده از این روش سله‌های سطحی خاک – که اغلب بعد از باران و یا آبیاری بارانی شدید در خاک‌های رسی تشکیل می‌شود - را می‌توان از میان برداشت. این روش از جمله روش‌های مؤثر در کاشت پنبه و فلفل تند محسوب می‌شود اما در مورد کاهو که بذر آنها در عمق کمی قرار دارد روش چندان موفقی نیست.

کاشت دو ردیفه برروی پشته‌های هموار در محصولاتی همچون کاهو، پیاز و در بعضی مواقع پنبه موفقیت‌آمیز است. بذرها بر لب پشته‌ها یعنی جایی که تجمع نمک حداقل می‌باشد کاشته می‌شود. استفاده از این روش با آبی با EC برابر ٥/٤ موجب سبز شدن بسیار خوب و تولید بالای محصول پنبه شده است. همانگونه که کاشت بذر در داخل شیارهایی که آب از آنها عبور می‌کند- به دلیل کم بودن میزان نمک در داخل این شیارها- از جنبه‌های مثبتی برخوردار است اما به دلیل سله بستن شدید در شیار و پایین بودن دمای خاک، بیماریهای بذر و مشکل علف هرز نیز شدیدتر می‌باشد. به دلیل وجود چنین مشکلاتی این روش تنها در مورد آب‌های بسیار شور و

جهت استقرار گیاهان علوفه‌ای به کار می‌رود. در مورد پنبه چنانچه قابلیت هدایت الکتریکی آب مورد استفاده در آبیاری بارانی برابر ٤dS/m باشد کاهش عملکرد برابر ۱۵ درصد محصول الیاف پنبه خواهد بود. استفاده از روش آبیاری بارانی در طی روز با آب شور با EC برابر ٥ موجب سوختگی شدید برگ‌ها و کاهش فوق العاده محصول می گردد. در هر دو مورد یادآوری می‌شود چنانچه آبیاری در شیب مناسب انجام پذیرد کاهش چشمگیری در تولید محصول مشاهده نمی‌گردد.

با به کارگیری سیستم آبیاری متحرک خطی می‌توان آب‌هایی با شوری ٨dS/m را نیز مورد استفاده قرار داد و میزان محصول تولید پنبه برابر یا بیشتر از محصولی است که از روش متداول آبیاری شیاری به دست می‌آید. در بعضی از مناطق گرم و خشک آریزونا ده‌ها سال است که آب‌های زیرزمینی شور در محدوده EC بین ۳ تا ۱۱ را به منظور آبیاری مورد استفاده قرار می‌دهند. از این مزارع اصولاً برای کاشت پنبه که در آنها مرحله جوانه‌زنی آبیاری با استفاده از آب چاه با شوری کم و نحوه آبیاری شیاری نیز به صورت یک در میان انجام می‌پذیرد، استفاده می‌شود. پس از مرحله جوانه‌زنی از آب شور چاه‌ها به منظور آبیاری استفاده می‌شود.

معمولاً EC_e در عمق اصلی ریشه بیشتر از ۲ یا ۳ برابر هدایت الکتریکی آب آبیاری (EC_{iw}) نبوده و تقریباً برابر EC_{iw} در قسمت پایینتر از شیارها و بالغ بر ٦ برابر میزان EC_{iw} در بستر بذر می‌باشد. به طور کلی شوری عصاره اشباع یا شوری منطقه ریشه از ۳-۲ برابر شوری آب آبیاری تجاوز نمی‌کند.

یکی از متخصصین نشان داده است که امکان کشت وسیع چندین نوع از گیاهان شور زیست به عنوان علوفه وجود دارد و می‌توان آنها را با آب دریا کشت نمود. میزان محصول علوفه از میانگین عملکرد محصولات متعارفی چون یونجه که با آب شیرین آبیاری شده باشند نیز فراتر رفته است. پرمحصولترین گیاهان شوری پسند دارای عملکردی بالغ بر ۱۷-۸ تن ماده خشک در هکتار می‌باشند. میزان پروتئین محصولات فوق برابر ۲/٦-۰/٦ می‌باشد. از این قبیل گیاهان علوفه‌ای نظیر *Atriplex nummalarias* را می‌توان نام برد.

۴-۶- تجربیات مصرف آب شور در کشاورزی آبی ایران

مقدمه

ایران جزو کشورهائی است که حدود دو سوم وسعت آن را اقلیم‌های خشک و نیمه خشک با مساحتی بالغ بر ۱۰٤٦٤٦٦ کیلومتر مربع در بر می‌گیرد. همچنین وسعت اراضی فرا خشک آن به ٥٧٣٨٨٤ کیلومتر مربع (۳۵/۵ درصد) می‌رسد. تحت چنین شرایط آب و هوای خشک با نزولات آسمانی اندک بالطبع بخش اعظم تلفات آب را تبخیر و تعرق شامل می‌شود که در برابر دریافت آوردهای آبی نیوار، مجدداً به هوا پس داده می‌شود. بنابراین، وجود خشکسالی‌های پی درپی که به خصوص در اقلیم‌های فرا خشک به وقوع می‌پیوندد امری طبیعی است که گاهگاهی قسمت وسیعی از دشت‌های آبی کشور را مواجه با قحطی و غلای ناشی از خشکسالی سخت وممتد همچون طوقه‌ای با هوای گرم و خشک گیاهان زراعی و پوشش طبیعی این نواحی را در ۸ تا ۹ ماه از سال در کام خود فرا می‌گیرد.

تحت چنین شرایط سخت و خشکسالی است که کشاورزان نواحی کویری و بیابانی و زارعین نواحی کم ارتفاع و بعضاً دشت‌هائی که مواجه با کم آبی هستند از روزگار گذشته مجبور بوده‌اند که از آب‌های سطحی و زیرزمینی شور این نواحی برای زراعت‌های آبی خود استفاده کنند که از آن جمله هنوز هم در مناطق زیادی از جنوب و جنوب شرقی و شرق مرکزی کشورمان رایج است. این کشاورزان طی سال‌ها با آزمون و خطا از طریق چشیدن در انتخاب آب مناسب زراعت خود موفق بوده‌اند. بنابراین کشاورزی تحت شرایط آب و خاک شور در ایران سابقه دیرینه دارد و موضوع جدیدی نیست ولی از نظر بررسی‌های تحقیقی و گزارشات مکتوب تا این اواخر با توجه به اهمیت مسائل ناشی از شوری خاک و آب و نیز استفاده از آب شور توجهی به این مهم نشده بود. با اینکه سطح وسیعی از کشور یعنی بین ۳۵-۱۵ میلیون هکتار را اراضی شور می‌پوشاند و هر ساله هزاران هکتار بر مساحت این خاک‌ها نیز اضافه می‌شود، آشنائی بیشتر به مشکلات آب و خاک شور و چگونگی بهره‌برداری تحت شرایط و محیط شور، مسئله‌ای است حادتر از آنچه به ظاهر به نظر می‌رسد.

در کشور ما مشابه برخی دیگر از مناطق خشک و نیمه خشک جهان، توجه به مشکل و راهبردها و رهنمودهای بهره‌برداری از آب و خاک شور بایستی از اولویت ویژه‌ای بر خوردار باشد. همچنانکه بعضی از این ممالک نظیر کشورهای واقع در شمال آفریقا طی چند دهه اخیر با جلب کمک‌های مالی و فنی از سازمان‌های جهانی، به ویژه ارگان‌هائی از سازمان ملل متحد نظیر سازمان خواروبار جهانی، سازمان یو ان‌دی‌پی و یوان‌سی‌ای دی و سازمان‌های مشابه، موفق به حل بعضی از مسائل شوری آب و خاک و بهره‌برداری اقتصادی از آب‌های شور و زه‌آب‌های برگشتی در توسعه کشاورزی خود شده‌اند. بعضی از این دستورالعمل‌ها در قسمت منابع این نوشتار آمده است.

در دو دهه اخیر در ایران گزارشات پراکنده‌ای درباره اثر شوری آب آبیاری روی مشخصه‌های خاک، بذر، نهال و محصولات زراعی کم و بیش ارائه شده است که چون محل و یا نوع بعضی از آنها در مقیاس محدود و یا در شرایط تحقیقاتی با مدیریت‌های کنترل شده و با برخورداری از شرایط کاشت و داشت و برداشت با کیفیت خوب انجام نیافته است و یا در شرایطی صورت گرفته که عموماً دور از مسائل و مشکلاتی بوده است که عملاً کشاورزان مربوطه با آن دست به گریبان هستند، بنابراین فقط به ذکر آن عده از بررسی‌ها که حتی‌المقدور تحت شرایط رایج که توسط زارعین معمول می‌باشد، اکتفا می‌شود. قبلاً به سابقه کار یونسکو در ایران در این رابطه نیز اشاره می‌شود.

همزمان در دهه پنجاه از قرن بیستم که می‌توان شروع کار عملی درباره استفاده از آب شور در کشاورزی به شمار آورد، هی وارد[1]، کارشناس معروف آن زمان درباره "اهمیت منابع آب شور در مناطق خشک" مقاله‌ای ارائه داد. سازمان یونسکو نیز با برپائی اولین کنگره جهانی " استفاده از آب شور در کشاورزی" در سال ۱۹۶۰ در محل تهران، توجه جهانیان را در سطح بین المللی در خصوص بهره‌برداری آب شور در کشاورزی و نیز کاربرد این آب‌ها در بهبود خاک‌های شور و سدیمی و استفاده از این منابع در تولید محصولات کشاورزی در مناطق خشک جلب نمود. در همین زمان یکی از اولین انستیتوهای تحقیقاتی توأم با دوره‌های آموزشی درباره

1- Hayward, H. E,1956

"استفاده از آب شور در کشاورزی" توسط همان سازمان و یوان‌دی‌پی[1] در تونس در سال ۱۹٦۲ تأسیس گردید که نتایج پژوهش‌های دوره هفت ساله آن توسط یونسکو در سال ۱۹۷۰ به صورت یک مجموعه منتشر شد. در این گزارش علمی تحقیقاتی رهنمودهای لازم در زمینه بهره‌برداری از آب شور در کشاورزی پایدار به ویژه برای کشورهای ذیربط نظیر کشور ما ارائه شده است که برای شروع چنین کارهایی در سطح کشور به کارگیری آن رهنمودها توصیه می‌شود که در بخش پیشنهادات به این نکات اشاره خواهد شد. به علاوه در این‌باره در بخش (٤-۲) نسبت به این پژوهش‌ها در تونس توضیح داده شده است.

شروع کارهای تحقیقاتی در ایران

در ابتدای انجام کارهای پژوهشی مربوط به آب‌های شور در کشاورزی آبی، پس از گذشت حدود ده سال از کنگره یونسکو، ابتدا گزارش مقدماتی توسط گروه کارشناسی از سازمان خواروبار جهانی[2] در سال ۱۹٦۸ ارائه گردید. در این بررسی با کاربرد آب آبیاری مرکب از سطح‌های مختلف با شوری از ۰/۵ تا ٤/۲ گرم در لیتر، در منطقه خوزستان، نشان دادند که هر گاه شوری از حد آستانه‌ای گیاه گندم بگذرد، عملکرد محصول به نسبت افزایش شوری نقصان می‌یابد. موضوع جالب توجه اثر بارش زمستانه و اوائل بهار به میزان حدود ۳۲۰ میلیمتر در کاهش شوری خاک است که نشان می‌دهد در مناطقی از ایران که نزولات آسمانی به قدر کافی است، بهبود خاک‌هائی که با آب شور آبیاری می‌شوند، قابل توجه می‌باشد. همانطور که در بخش بررسی‌های مربوط به کارهای انجام شده در هند ذکر شد، استفاده از این امر در اصلاح زمین‌های مبتلا به شوری معمول می‌باشد.

یزدانی و همکاران (۱۳٦۳) در بررسی روش‌های مدیریتی استفاده از آب شور با هدایت الکتریکی متغیر ۲،۵،۸،۱۱dS/m بر روی عملکرد محصول چغندر قند و پنبه در اصفهان مشاهده کردند که در قطعه‌ای که از مواد اصلاحی (گچ) استفاده شده است، آبیاری سطحی با شوری متوسط (EC_{iw}=8dS/m)، میزان عملکرد چغندر قند در حد

1 -UNDP
2 -FAO, 1968

ماکزیمم به ۳٤ تن در هکتار رسید و از آن به بعد با افزایش شوری آب از ۸dS/m به افت میزان عملکرد منتهی گردید. در مورد پنبه میزان حداکثر عملکرد در آب با شوری حدود ٦dS/m نتیجه داد و هرگاه شوری آب به حدود ۱۰dS/m نزدیک گردید، کاهش عملکرد مشاهده شد.

در استفاده از آب شور در تولید گندم، توسلی (۱۳۷۰) با آبیاری آب با درجات شوری مختلف دریافت که گندم قدس تحت شرایط مزرعه، شوری آب با هدایت الکتریکی تا حد dS/m ٦/٥ را تحمل می‌کند و عملکرد رضایت بخش می‌دهد. این بررسی با اعمال تیمارهای آبشوئی و بارندگی زمستانه توأم بوده است. میلانی و همکاران (۱۳۷۳) در آزمایش اثر آب شور در سه سطح dS/m ۱/۸، ۳/٥ و۵/۷ روی ذرت میزان عملکرد رابطه معکوس با درجه شوری آب آبیاری را نشان دادند که نشان‌دهنده مقرون به صرفه بودن مصرف آب با هدایت الکتریکی ۱/۸dS/m تحت شرایط مزرعه بوده است. واحدی و توسلی (۱۳۷٤) در بررسی روش‌های مختلف استفاده از آب‌هایی با شوری ۲/٥dS/m، ٦/٥ و ۱۱/٥ روی گندم در دشت سروستان فارس طی آزمایش سه ساله در مزارع زارعین به این نتیجه رسیدند که گندم واریته قدس در شرایط آب و هوائی و خاک محل اجرای آزمایشات تا شوری حد dS/m ٦/٥ آب آبیاری را تحمل می‌کند و عملکرد آن مشابه عملکرد، با شوری آب آبیاری ۲/٥dS/m به حدود ٦ تن در هکتار رسیده است.

مناطق پسته‌خیز جنوب شرقی ایران که اغلب شرایط کویری داشته وشور می‌باشند و عموماً مواجه با مشکل کم آبی هستند نیز مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی‌های مزبور نشان داده است که پسته به ویژه در دو مرحله جوانه‌زنی و مراحل اولیه رشد نسبت به تنش شوری و خشکی بیشترین حساسیت را نشان می‌دهد. در این زمینه سپاس‌خواه و مفتون (۱۹۸۱) روی نهال پسته در گلخانه اثر آب آبیاری با غلظت‌های dS/m ۰/٥تا٤/٥ را روی دو واریته بادامی و فندقی مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که ظاهراً واریته بادامی از فندقی حساس‌تر است زیرا شوری آب آبیاری حداکثر هیچگونه کاهش رشد معنی‌داری در ساقه واریته فندقی به جا نگذاشت در حالیکه در این غلظت (dS/m ٤/٥) در رشد ساقه واریته بادامی کاهش محسوسی رخ داد. همچنین در این غلظت از رشد برگ‌های هر دو واریته به طور

معنی‌داری کاسته شد ولی هیچگونه اثری در ریشه به جا نگذاشت. در این باره سالمی پاریزی (۱۳۷۵) و صنعتی (۱۳۷۸) به نتایج مشابهی رسیدند و کلیه این پژوهش کنندگان در بررسی‌های یاد شده روی ارقام پسته کرمان به این نتیجه رسیده‌اند که ارقام کله قوچی، اوحدی، اکبری و بادامی از گونه پسته[1] نسبت به تنش‌های شوری و خشکی در رابطه با درصد جوانه‌زنی و طول ریشه به ترتیبی که ذکر شده است قرار دارند.

در بررسی مقاومت ارقام سورگم به آبیاری با آب شور، زاهدی (۱۳۷۷) چهار سطح شوری از آب آبیاری (۲dS/m،٤، ٦ و ۸) را روی چهار رقم از این گیاه به مدت سه سال در رود دشت اصفهان مورد مطالعه قرار داد و به این نتیجه رسید که حداکثر محصول تر در ۲ dS/m (آب رود خانه) به دست می‌آید و این میزان عملکرد برای سه سطح دیگر به ترتیب برابر ٤/۹-۸/۷-۷/۸ تن علوفه خشک در هکتار است که به ترتیب برابر۲/۷-۱٤-۱٦/٥ درصد کاهش محصول نسبت به برداشت از آب رودخانه می‌باشد. در بین ارقام، رقم اسپیدفید بهترین نتیجه را عاید ساخت. بنابراین هم اثر کیفیت آب آبیاری و هم خواص وراثتی ارقام در برداشت محصول مؤثر بوده‌اند. محمد فیضی (۱۹۹۸) در ارتباط با اثرات بلند مدت آب‌های شور با کیفیت‌های ۲ dS/m، ٥ و ۸ بر روی گیاهان گندم و چغندر قند در یک دوره پنج ساله در خاک‌های اصفهان از نظر تثبیت و توازن املاح محلول در پروفیل خاک و نیز در رابطه با عملکرد دو محصول که مورد توجه این نوشتار است دریافتند: آب‌های با EC_w برابر ۱/۸، ٤/۹ و ۸/۲ اثر یکسانی روی عملکرد چغندر قند (٥۲/٥-٥۱ تن در هکتار) و در مورد گندم به ترتیب به نسبت ٤۲۰۱، ۳۸٤٥ و ۲۸۲۷ کیلوگرم در هکتار مشابه نتایجی که ماس و هافمن[2] به دست آوردند، عملکرد محصول داشته‌اند یعنی بار دیگر نتایج نشان می‌دهد که با افزایش شوری آب آبیاری به طور نسبی نقصان عملکرد نتیجه می‌شود. فیضی و رضائی (۱۹۸۸) تأثیر آبیاری بارانی با آب شور بر عملکرد یونجه و خصوصیات شیمیائی خاک در اصفهان را با استفاده از آبی با EC=4dS/m محتوی

1 - pistacia vera

2 -Mass and Hofman, 1977

کلرید و سدیم به ترتیب به غلظت ۲۰ و ۳۰ میلی‌اکی‌والان در لیتر مورد آزمایش قرار دادند. بر اساس مطالعات مربوطه معلوم گردید که در علوفه خشک علائمی از تجمع کلرید، بر و سدیم در ماه‌های گرم سال انجام می‌گیرد. از نظر تغییرات ESP خاک، میزان آن در عمق ٦٠-٣٠ سانتیمتری تقریباً برابر ٣٠-٠ سانتیمتری می‌باشد و عموماً میزان آن در ابتدای هر فصل و بعد از اولین آبیاری برابر حالت اولیه شروع آزمایش است که خود اثرات مفید آبشویی با آب دارای کیفیت مناسب را نشان می‌دهد.

لازم به ذکر است که در چند سال اخیر آزمایشات به مقیاس وسیع در مزارع کشاورزان در نواحی زیادی از ایران توسط کارشناسان آب و خاک درباره اثر آب شور توأم با مدیریت‌های خاص روی گندم انجام یافته است که نتایج آنها در ارتباط با بهره‌برداری از آب شور در راستای کشاورزی پایدار در سطح کشور شایان توجه می‌باشد. در اینجا به چند مورد از آنها اشاره می‌شود.

در بررسی رشد و تولید گندم در شرایط شوری در مزارع نواحی وسیعی از چند استان، سیادت و سعادت (١٣٧٧) دریافتند که تحت شرایط مدیریت زراعی مناسب نظیر تعداد آبیاری، تناسب کیفیت آب با محصول، مقدار و نوع کود مصرفی حتی در اقلیم‌های خشک و با آبیاری شور هرگاه از ارقام سازگار گندم انتخاب شایسته انجام پذیرد، امکان برداشت عملکرد رضایت بخش وجود دارد. در این مطالعه از میان ١٤٦ اطلاعات جمع‌آوری شده از آزمایش قطعات زراعی کشاورزان که با آب‌هایی با هدایت الکتریکی برابر١٣dS/m (یک مورد) و ١٠dS/m (٥ مورد) و سایر نمونه‌ها که بیشتر EC_e خاک مورد کشت بیش از ١٠dS/m بوده است، موفق به برداشت عملکرد رضایت بخش شده‌اند. باید توجه داشت که براساس نظر ماس و هافمن (١٩٧٧) آستانه شوری برای گندم در حد dS/m ٦ است. در این بررسی‌ها به طور متوسط میزان برداشت برای دانه ٦/٨ تن در هکتار بوده است که با افزایش هر واحد شوری بیش از آستانه برای تولید دانه معادل ٢١٧ کیلوگرم در هکتار کاهش نشان می‌دهد. تحقیقات میلانی و همکاران (١٣٧٨) و درودی و سیادت (١٣٧٨) درباره اثر شوری آب آبیاری توأم با اثر کودهای شیمیائی در گندم در شرایط شور در استان قم نشان می‌دهد اثر سه سطح شوری آب آبیاری dS/m ٦،٥/٧ و١٢ در اراضی با هدایت الکتریکی عصاره

اشباع برابر٤ تا ۱۸ dS/m عموماً تا سطح شوری با آب لب شور (٦dS/m) تقریباً عملکرد رضایت بخشی عاید می‌شود و بعد از آن با شور شدن بیشتر آب آبیاری (بعد از شوری آستانه کاهش محصول) از مقدار عملکرد به نسبت شوری آب کاسته می‌شود. شرایط شوری در این بررسی‌ها حالتی است که شوری آب آبیاری بین ٦ تا ١٦ و اغلب شوری خاک بین ٤ dS/m تا ۱۸ متغیر است. یک سری بررسی‌ها و فعالیت‌های انجام یافته در کشور درباره استفاده از آب‌های شور در کشاورزی در زمینه سدیم زدائی خاک‌های سدیمی و بهبود خاک‌های شور می‌باشد که در خور توجه می‌باشد. این کارها از حدود دو دهه قبل شروع شده است. کارهای اولیه توسط جواهری (۱۳۵۱، ۱۳۵۵)، پذیرا (١٣٦٩)، مهاجر میلانی و توسلی (۱۳۷۰) صورت گرفته است و دیگر کارشناسان نظیر فیضی (۱۳۷۲)، مهاجر میلانی (۱۳۷۵) و عده‌ای دیگر و تعدادی از مهندسین مشاور، به ویژه در سال‌های اخیر مطالعات را ادامه داده‌اندکه علاقه‌مندان می‌توانند برای اطلاع بیشتر به مجموعه‌ای تحت عنوان "آب مورد نیاز شستشوی خاک‌های شور ایران" (مهاجر میلانی و جواهری) که اخیراً توسط وزارت نیرو نیز (۱۳۷۸) منتشر شده است مراجعه کنند. محدوده شوری اولیه خاک‌های مورد آزمایش بین ۲ تا۱۰۰ و شوری آب عموماً بین ۱تا dS/m ۸ بوده است. هرچند در بعضی آزمایشات از آب‌هایی با شوری حدود mg/l ۹ هم استفاده شده است (جواهری ۱۳۵۱). در این مطالعات روی هم رفته شوری آستانه نقصان محصول برای گندم ٦، جو ۸، چغندرقند ۷، پنبه ۷/۷ و آفتابگردان ٥ و برنج ۳ دسی زیمنس بر متر در نظر گرفته شده است. در مجموع از این آزمایشات می‌توان چنین نتیجه گرفت که آزمایشات اثر شوری در عملکرد محصولات زراعی در شرایط اقلیمی طبیعی که همبستگی با انواع سری خاک‌های هر منطقه داشته باشد غیر از چند مورد، هنوز در مرحله مقدماتی است و بنابراین کارهای انجام شده را می‌توان به عنوان بررسی‌های مقدماتی در نظر گرفت که می‌توان نتایج آنها را در طرح آزمایشات مزرعه‌ای در ایستگاه‌های تحقیقاتی و مزارع زارعین به کار برد.

۵- ارزیابی اثرات آبیاری در مشخصه‌های کیفی خاک و گیاه

۵-۱-کلیات

ثروت کشاورزی مناطق خشک و نیمه خشک، نظیر کشور ما، متکی و وابسته به کشاورزی تحت کشت آبی است. بنابراین حفظ اراضی تحت کشت آبی و بهبود و توسعه و بهره‌برداری اقتصادی از آنها یکی از هدف‌های مهم ملی محسوب می‌گردد. به عبارت دیگر اجرای اصولی عملیات زراعی که ضامن بقاء و نگهداری سیستم زراعت به طریق آبیاری است، نه تنها از شرایط لازم، برای موفقیت برنامه‌های مهم کشاورزی در حال حاضر است بلکه از نظر توسعه اقتصادی در امر کشت و زرع مناطق زیر کشت با آب آبیاری، بخصوص در برنامه‌های دراز مدت، بی‌نهایت حائز اهمیت می‌باشد. آب آبیاری علاوه بر اینکه قدرت انتخاب کشاورز را نسبت به شرایط دیم‌کاری بالاتر می‌برد، او را قادر می‌سازد که به تناسب بازار، به تولید بیشتر محصول مورد نظر اقدام نماید. با توجه به اینکه فقط از طریق آبیاری است که امکانات شغلی تازه‌ای در امر تهیه و بازاریابی تعداد زیادی محصولات غذائی به وجود می‌آید، لیکن کشور ما جزو مناطق خشک است و اهمیت و توجه به کشاورزی در ایران هنگامی روشن می‌شود که آمار کشاورزی بیست سال گذشته کشور مد نظر قرار گیرد. در طی این مدت به علت داشتن ۱۳ سال خشکسالی، کشاورزان دیم‌کار موفق نبوده‌اند. در کشت فاریاب نیز انباشتگی املاح محلول خاک که طی آبیاری‌های متمادی در شرایط اقلیمی خشک به وجود می‌آید مسئله اصلی در کشاورزی آبی سراسر جهان من جمله ایران است که توجه به آن به ویژه در بهره‌برداری از آب‌های شوراز اولویت خاصی برخوردار می‌باشد.

با تجمع املاح در خاک بیشتر از حد آستانه‌ای تحمل گیاه به نمک عملکرد محصول کاهش می‌یابد. بطور کلی عکس‌العمل گیاه به شوری خاک با کاهش رشد و عملکرد گیاه بروز می‌نماید. آب آبیاری محتوی نمک‌های محلولی است که منشاء آنها طبیعی بوده و ترکیب آنها نیز مخلوطی از انواع مختلف مواد محلول است. از اینرو به تبع آن، شوری خاک در اراضی فاریاب از نظر نوع و میزان املاح، به ترکیب آب آبیاری و نیز

میزان شوری آب‌های سطحی بستگی دارد، بنابراین املاح خاک از نظر کمی و کیفی با این دو منشاء در ارتباط است.

در مواردیکه میزان املاح محلول در محیط ریشه گیاه زراعی از حد معینی تجاوز کند به علت زیاد شدن پتانسیل اسمزی خاک، گیاه دچار تنش رطوبتی می‌شود. هر گاه این حالت ادامه یابد، به علت تنش رطوبتی شدید این محرومیت به صورت کاهش در رشد گیاه نمایان خواهد شد. اثرات شوری را می‌توان به صورت پژمردگی گیاه، رنگ سبز پر رنگ مایل به آبی برگ‌ها و نیز برگ‌های ضخیم و مومی در گیاهان مشاهده کرد. مقاومت به شوری در گیاهان در دوران مختلف رشد متفاوت است. در گیاهان زراعی بیشترین حساسیت به شوری در مرحله جوانه‌زنی می‌باشد. در بررسی آثار ظاهری شوری در گیاهان زراعی می‌توان به این نتیجه رسید که تأثیر شوری موضعی نبوده و به وضوح قابل تشخیص است و به صورت کوتاه نگهداشتن گیاه و نقصان عمومی رشد همراه است.

گیاه در حالت طبیعی رطوبت اطراف ریشه را به وسیله نیروی مکش که نسبت به آب دارد دریافت می‌کند. این رطوبت در شرایط طبیعی توسط فاز جامد خاک نگهداری شده است که به قوای پتانسیل جداری[1] توصیف می‌شود. چنانکه گیاه قادر به اعمال نیروی مکش بیشتر از پتانسیل آب خاک نباشد، صدمه می‌بیند. این در صورتی است که خاک بسیار خشک باشد. وجود نمک‌های محلول در محیط ریشه نیز منشاء نیروئی بنام اسمز یا پتانسیل اسمزی[2] است که آن نیز به ویژه در محیط‌های شور عرصه را برای دریافت رطوبت توسط ریشه تنگ می‌کند. بنابراین مشابه اثر نقصان پتانسیل جداری است. در خاک‌های شور، عموماً دو پتانسیل مذکور در حالت غیر اشباع بیش از پتانسیل‌های دیگر در روابط خاک و گیاه تأثیرگذار هستند.

در مجموع می‌توان اثر شوری را در کاهش قدرت باردهی خاک از دو جنبه در نظر گرفت، یکی اثرات مستقیم شوری بر خاک و دیگری تأثیر مستقیمی که عیناً روی گیاه می‌گذارد. با آنکه وجود املاح محلول محتوی یون‌های دوظرفیتی کلسیم و منیزیم

---

1 - matric potential

2 - osmotic potential

به حفظ دانه‌بندی و ساختمان خاک کمک می‌کند، لیکن هنگامی که به شکل ترکیبات شیمیائی از نوع رسوبات کربناته در می‌آید موجب کاهش میزان منافذ کوچک خاک می‌گردد و در نتیجه با ایجاد نقصان در آب و هوا و عناصر غذائی دیگر، رشد گیاه را محدود می‌سازد. ادامه روند شورشدن خاک، عموماً مشکل سدیمی شدن خاک را نیز به دنبال دارد که طی آن، تجمع بیش از حد سدیم در خاک، خطرات پیچیده سدیمی شدن اراضی را در پی دارد، به طوری که خطر اخیر با افزایش درجه شوری تشدید می‌گردد. بنابراین شوری و سدیمی شدن خاک موجبات نقصان رشد کلی محصولات زراعی را فراهم می‌کند. یعنی در این خاک‌ها به جای آنکه انرژی گیاه صرف رشد فیزیولوژیکی اندام‌ها گردد، برای مقابله با مکش اسمزی محلول خاک نسبت به جذب آب به کار می‌رود، که این فرآیند ایجاد تنش در گیاه و کاهش رشد را به دنبال دارد. شوری ثانویه که ناشی از فعالیت‌های انسان در اثر آبیاری غیر اصولی در مناطق خشک و نیمه خشک در طی سال‌های طولانی است موجب تبدیل اراضی وسیع حاصلخیز به بیابان‌های شور و مبتلا به نمک گردیده است، در حال حاضر نیز این امر معضل اکثر زراعت‌های آبی در سراسر جهان است که امروزه یکی از عوامل گسترش سرزمین‌های کویری در نواحی خشک محسوب می‌گردد. فقط در کشور ما حدود ۲۳ درصد از اراضی وسیع سرزمین‌های قابل کشت را آبیاری نادرست با آب‌های شور به اراضی لم یزرع مبدل ساخته است. به نظر زابلکس (۱۹۹۲)[1] متخصص و کارشناس جهانی، بیش از $\frac{۳}{٤}$ وسعت اراضی شور موجود در مناطق خشک و نیمه خشک به دلیل استفاده از سیستم‌های نادرست آبیاری و نبود شبکه‌های زهکشی بوده که طی فرآیند "شوری ثانویه" یعنی به دست بشر شور شده است. این پژوهشگر معتقد است که انسان با دخالت‌های نادرست در طبیعت می‌تواند به راه‌های دیگر، غیر از آبیاری موجبات "شوری ثانویه" اراضی را فراهم کند. از این قبیل: جنگل‌زدائی، چرای مفرط، تغییر کاربری اراضی یا نوع پوشش گیاهی، پیش روی جبهه آب شور به سفره‌های آب شیرین در اثر برداشت بی‌رویه آب‌هایی با کیفیت خوب، قطع و سوزاندن گیاهان خشبی، تخلیه آب‌های شور (همراه با استخراج

1 -Szabolcs, 1992

ذغال سنگ، نفت و غیره) به سطح خاک و نظائر آنها هر یک و یا با هم به تخریب و شور شدن اراضی سرعت می‌بخشد. بنابراین شوری ثانویه که در اثر فرآیندهای بی‌شماری به وجود می‌آید عرصه را برای موفقیت در کشاورزی آبی تنگ می‌نماید. از اینرو باید توجه داشت که برای بهسازی قسمت وسیعی از این اراضی کشاورزی، اجرای عملیات آبشوئی و یا آبشوئی توأم با افزایش مواد اصلاح کننده به خاک‌های سدیمی ضروری است. پیاده کردن عملیات آبشوئی خود مستلزم رعایت نکات مهمی از جمله عدم تأثیر سوء به اراضی مجاور و طبقات زیرین است که در فصل مربوطه به تفصیل مورد بحث قرار خواهد گرفت.

۵-۲- رفتار و اثرات نمک‌های محلول در خاک و آب

بیشتر آب‌های کشاورزی از نظر کیفیت مناسب می‌باشند. لیکن از آنجایی که معمولاً در مناطق خشک و نیمه خشک آب مصرفی در کشاورزی محتوی مقادیر کم و بیش از املاح محلول است، در طی زمان به ویژه با وضعیت زهکشی نامناسب و ضعیف موجبات تراکم نمک‌های محلول را در خاک فراهم می‌سازد. از طرفی گیاه آب و مواد محلول را مستقل از هم جذب می‌کند و احتیاجات گیاه به املاح، با جزء بسیار کمی از کل نمک‌های اضافه شده از طریق آبیاری، مرتفع می‌گردد. بنابراین در هر مرتبه آبیاری در سیستم‌های فاقد زهکش مقداری املاح محلول در خاک جمع می‌شود، بنابراین طی آبیاری‌های مکرر با گذشت زمان مقدار زیادی از نمک‌ها به خاک اضافه می‌گردد که در نهایت در اثر شوری این اراضی، خاک‌ها مبدل به سرزمین‌های شور و بی حاصل می‌شوند.

مقدار نمک‌های محلول آب آبیاری عموماً ۵۰۰ تا ۳۰۰۰ میلیگرم در لیتر و بیشتر تغییر می‌کند برای مثال هرگاه از آب آبیاری باغلظت ۵۰۰ میلیگرم در لیتر به مدت یک فصل زراعی استفاده شود و ارتفاع کل آب آبیاری معادل یک متر در هکتار برآورد شود، در هر سال حدود ۵ تن نمک به هر هکتار خاک مزرعه مورد عمل اضافه می‌شود.

آب از هر منبع طبیعی که سرچشمه گرفته باشد محتوی مقداری املاح طبیعی خنثی است، البته مقدار طبیعی و مطلوب این نمک‌ها در رشد گیاه سودمند می‌باشد. لیکن از آنجایی که معمولاً آب مورد استفاده برای اراضی واقع در مناطق خشک و نیمه خشک (نظیر کشور ما که غالباً آب‌های واقع در نواحی جنوب ایران) محتوی مقدار معتنابهی املاح است که با افزایش بیش از آستانه تحمل گیاه، از عملکرد محصول خواهد کاست. زیرا همانطور که در بالا اشاره شد گیاه آب و مواد محلول را مستقل از هم جذب می‌کند و احتیاجات گیاه به املاح با قسمت بسیار جزئی از املاح اضافه شده از طریق آبیاری تأمین می‌گردد. از طرف دیگر، گیاه سبز در جهت رفع نیاز آبی برای انجام واکنش‌های فیزیولوژی خود، میزان حجم آبی را که برابر تبخیر و تعرق است، از محیط ریشه به نیوار پیرامون گیاه آزاد می‌سازد. این مقدار آب تقریباً معادل میزان آبی است که در فاصله دو آبیاری به خاک داده شده است. در نتیجه در هر مرتبه آبیاری کم و بیش به نمک‌های محلول در آب آبیاری در محیط ریشه اضافه می‌شود. طبیعت این مواد محلول غالباً مشابه املاح محلول در آب آبیاری است ولی با غلظتی بیشتر از آب مزبور، نتیجه آنکه افزایش تدریجی نمک‌ها در حجم ثابت خاک محیط ریشه، چنان که از طریق آبشوئی از نیمرخ خاک خارج نشود با گذشت زمان به غلظت املاح آب خاک اضافه می‌شود و در مجموع این غلظت بر خواص جمع‌شدگی حجم[1] آب خاک تأثیر منفی دارد. بنابراین برای کنترل نمک‌های اضافی قبل از آنکه به گیاه صدمه بزنند، در هربارکه آبیاری می‌شود، مقداری آب به منظور آبشوئی در حجم آب آبیاری منظور می‌شود. این آب اضافی که در هر مرتبه آبیاری با هدف شستشوی نمک‌های باقیمانده از آبیاری قبلی، از محیط ریشه صورت می‌گیرد به سهم آبشوئی موسوم است و برابر با:

$$\text{سهم آبشویی (LF)} = \frac{\text{ارتفاع آبی که از طریق آبشویی از زیر محیط ریشه خارج می شود}}{\text{ارتفاع آب مصرفی که به سطح خاک می رسد}} \qquad (۵-۱)$$

1-Shrinking volume

سهم یا برخه آبشوئی (LF)[1] و نیاز آبشویی[2](LR) به شرح زیر توصیف می‌شود:

سهم آبشوئی (LF)- نسبت غلظت نمک در آب آبیاری به غلظت نمک در محلول خاک در ناحیه توسعه ریشه‌ها در وضعیتی که رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی باشد. این اصطلاح معمولاً بر حسب عمق سطحی معادل نیز بیان می‌شود.

نیاز آبشوئی (LR) - سهم آبشویی مورد نیاز برای کنترل شوری، کلرید و یا سدیم خاک در حدی که برای گیاه معینی قابل تحمل باشد. سهم آبشویی برای شرایط ماندگار و یا شرایط میانگین در طولانی مدت کاربرد دارد.

منشاء توازن و تعادل غلظت املاح محلول خاک که پس از آبیاری‌های مکرر در خاک حاصل می‌شود مربوط به شوری آب آبیاری و سهم آبشوئی است یعنی هر گاه خاک مورد عمل به جای آب شوئی نسبتاً بالا (LF=0.5) از سهم آبشوئی کمی (LF=0.1) بهره بگیرد به تبع محیط ریشه محتوی املاح محلول بیشتر خواهد شد و بالعکس. پیش‌بینی شوری آب زهکشی که از زیر ریشه عبور می‌کند و نیز متوسط شوری خاک محیط ریشه از طریق شوری آب آبیاری (EC_W) و سهم آبشوئی (LF) قابل محاسبه و برآورد می‌باشد. زیرا شوری آب زهکشی از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$EC_{dw} = EC_w / LF$$

EC_{dw} = هدایت الکتریکی آب زهکشی

EC_w = هدایت الکتریکی آب آبیاری

LF = سهم آبشوئی

این رابطه براساس فرض وجود یک حالت ماندگار از توازن املاح است که از طریق آب آبیاری وارد خاک می‌شود و نیز این املاح از طریق آب زهکشی از محیط ریشه از نیمرخ خاک خارج می‌شود. به عبارت دیگر از نمک‌هائی که از طریق سایر منابع نظیر کود شیمیائی و مواد اصلاح کننده به اراضی اضافه می‌شود و یا از

1-Leaching Fraction

2 -Leaching Requirement

راه‌های دیگر از قبیل جذب ریشه و یا راسب شدن از محلول خاک حذف می‌گردد، صرفنظر می‌شود.

برای روشن شدن مسئله به ذکر یک مثال می‌پردازیم. در این مثال با در دست داشتن هدایت الکتریکی آب آبیاری و عدد مربوط به سهم آبشوئی، محاسبه هدایت الکتریکی آب زهکشی میسر خواهد بود.

هرگاه گیاه مورد نظر با آبی که هدایت الکتریکی آن (EC_w) برابر ۱dS/m و سهم آبشوئی آن مساوی ۰/۱۵ باشد (فرض بر این است که ۸۵ درصد آب آبیاری توسط گیاه مصرف شده و یا از سطح خاک تبخیر گردیده است) یعنی:

$$EC_w = 1 dS/m$$
$$LF = 0.15$$

توضیح آنکه غلظت آب خاک که از زیر منطقه توسعه ریشه عبور می‌کند (EC_{sw}) برابر غلظت آب زهکشی است که در زیر محیط ریشه قرار گرفته است. شوری آبی که به صورت زه‌آب از زیر ریشه خارج می‌شود از معادله:

$$EC_{dw} = EC_w / LF \qquad (۲-۵)$$

قابل محاسبه می‌باشد. زیرا

$$EC_{dw} = EC_{sw} = EC_w / LF \qquad (۳-۵)$$

$$EC_{dw} = \frac{1}{6.15} = 6.7 \text{ dS/m}$$

بنابراین شوری آب خاک که از زیر محیط ریشه (EC_{dw}) عبور می‌کند به طور تقریبی معادل ۶/۷ dS/m خواهد شد.

با به کار گیری معادله (۵-۳) و قبول فرضیات قابل قبول درباره توزیع رطوبت در محیط ریشه امکان دستیابی به برآورد متوسط شوری آب خاک(EC_{sw}) وجود دارد. جدول "راهنمای معرف تفسیر نتایج کیفیت آب برای آبیاری" بر این فرض استوار

است که مدل جذب رطوبتی محیط ریشه که گیاه دریافت می‌کند، از طبقات سطحی به عمق خاک، به ترتیب ٤۰، ۳۰، ۲۰ و ۱۰ درصد باشد. این الگو همانند چرخه‌ای است که عملاً در سیستم عملیات آبیاری اراضی فاریاب طی فرآیندهای جذب رطوبت به خاک و نیز برگشت آب از طریق تبخیر و تعرق برقرار می‌باشد. نتایج موجود در مثال ۲ که در زیر آمده است نشان می‌دهد که هر گاه سهم آبشوئی برابر ۰/۱۵ و الگوی جذب رطوبت در محیط ریشه از نسبت ۱۰،۲۰،۳۰،٤۰ از کوارترهای خاک پیروی کند، شوری متوسط آب خاک (EC_{sw}) تقریباً ۳/۲ برابر بیشتر از غلظت شوری آب آبیاری خواهد شد. در این مثال نیز هرگاه سهم آبشوئی به ۲۰ درصد افزایش یابد، متوسط EC_{sw}، ۲/۷ برابر بیشتر از شوری آب آبیاری (EC_w) خواهد بود. بنابراین در حد متعارف و معمول چنانکه سهم آبشوئی بین مقادیر ۱۵ تا ۲۰ درصد تغییر کند، همانطور که قبلاً درباره نتیجه‌گیری از جدول راهنمای تفسیر نتایج کیفیت آب برای آبیاری توضیح داده شد، بر حسب شوری آب آبیاری مصرفی، میزان افزایش املاح محلول محیط ریشه و یا به طور متوسط شوری آب خاک به سه برابر آب آبیاری می‌رسد. بدیهی است که این ارتباط در شرایط معمولی است والا در شرایط اقلیمی و خاکی مختلف غلظت املاح محلول خاک به مراتب به بیش از این مقدار افزایش می‌یابد.

از آنجا که معرف شوری مؤثر در گیاه، شوری عصاره اشباع خاک است (EC_e) و با غلظت املاح موجود در عصاره اشباع خاک سنجیده می‌شود، ازاین رو مقدار EC_e را به طور تقریبی نصف هدایت الکتریکی EC_{sw} در نظر می‌گیرند. بنابراین تعیین رابطه بین شوری خاک و شوری عصاره اشباع در بیان وضعیت نمک‌های محلول خاک، در ارتباط با اثرات کیفی آب آبیاری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در نتیجه از آنچه در بالا اشاره شد به اصطلاح سرانگشتی، جهت سهولت محاسبه، هرگاه فرض شود که برخه آبشوئی حدود ۲۰-۱۵ درصد تغییر کند در این صورت برآورد مقادیر شوری آب آبیاری، شوری آب خاک و شوری عصاره اشباع از روابط معادله‌ای که بین این متغیرها برقرار است، به ترتیب زیر می‌توان استفاده نمود:

برای برآورد بعضی از خصوصیات کیفی آب‌های مختلفی که در روابط آب خاک و گیاه نظیر شوری اهمیت دارد، از معادله‌های تقریبی که بین آنها برقرار است، به طریق زیر استفاده می‌کنند:

$$EC_{sw} = ۳\ EC_{iw} \qquad (٤-٥)$$

$$EC_{e} = ۱/٥\ EC_{iw} \qquad (٥-٥)$$

$$EC_{sw} = ۲\ EC_{e} \qquad (٦-٥)$$

سهم آبشوئی برای برقراری روابط مزبور برابر ۲۰- ۱۵ درصد فرض شده است.

در عمل برای محاسبه شوری متوسط خاک (EC_e)، از روی جدول (۵-۱)، شوری آب آبیاری را در فاکتور غلظت مربوط در سهم آبشوئی مورد نظر ضرب می‌کنند.

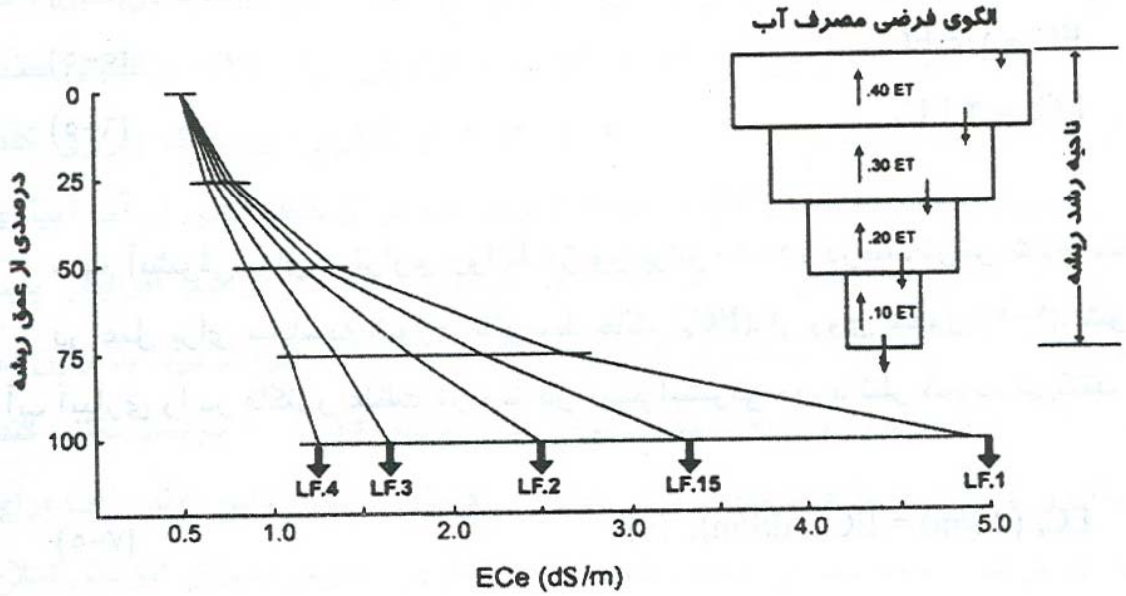
$$EC_e\ (dS/m) = EC_w\ (dS/m).\ (x) \qquad (٧-٥)$$

جدول ۵-۱- کاربرد ضریب غلظت (X) برای برآورد شوری عصاره اشباع خاک (EC_e) از شوری آب آبیاری(EC_w) و جزء آبشوئی (LF).

ضریب غلظت (X)	آب مصرفی مورد نیاز (بر حسب درصد)	جزء آبشوئی (LF)
۳/۲	۱۰۵/۳	۰/۰۵
۲/۱	۱۱۱/۱	۰/۱۰
۱/٦	۱۱۷/٦	۰/۰۱۵
۱/۳	۱۲۵	۰/۲۰
۱/۲	۱۳۳/۳	۰/۲۵
۱/۰	۱٤۲/۹	۰/۳۰
۰/۹	۱٦٦/۷	۰/٤۰
۰/۸	۲۰۰/۰	۰/۵۰
۰/۷	۲۵۰/۰	۰/٦۰
۰/٦	۳۳۳/۳	۰/۷۰
۰/٦	۵۰۰/۰	۰/۸۰

ضریب غلظت (X) با استفاده از مدل رطوبتی ۴۰ - ۳۰ - ۲۰ - ۱۰ محاسبه می‌شود.

مثال ۲ نحوه محاسبه را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۱- پیش‌بینی توسعه نیمرخ شوری در خاک تحت رژیم آبیاری با شوری EC_w=1dS/m در سطح‌های متغییر جزء آبشوئی (LF = ۰/۱- ۰/۲۰ - ۰/۳۰ - ۰/۴۰)

نتایج مشروح در مثال ۲ که در زیر آمده است، نشان می‌دهد هرگاه برخه آبشوئی خارج از ۲۰-۱۵ درصد باشد که در الگوی راهنمای تفسیر کیفیت آب به عنوان پیش فرض در نظر گرفته شده، در این صورت می‌توان از طریق به کار بردن ضریب غلظت، از حدود تغییرات وسیعی از سهم آبشوئی (بین ۰/۸۰-۰/۰۵ =LF) برای برآورد متوسط شوری خاک (EC_e) استفاده کرد. برای دستیابی EC_e، کافی است که عدد مربوط به شوری آب آبیاری را در ضریب غلظت مربوطه ضرب کرد (به معادله ۵-۷ و جدول ۵-۱ مراجعه شود). معادلات موجود بین مقادیر مختلف شوری آب و خاک که در بالا ذکر شد مبین وضعیت خصوصیات کیفی اثر آب آبیاری در برنامه‌های دراز مدت است که در اراضی فاریاب حاکم می‌باشد و بنابراین به هیچ وجه نمی‌تواند معرف اثر آبیاری‌های یک فصل یا یک دوره آبیاری باشد. به همین

ترتیب شکل ۵-۲ پیش‌بینی توسعه نیمرخ شوری را در هر یک از طبقات ربعی ولی با برخه آبشوئی متفاوت نشان می‌دهد.

در مباحث گذشته، در قسمت فرضیات مربوط به تدوین "راهنمای تفسیر نتایج کیفیت آب برای آبیاری" توضیح داده شد که مدل جذب رطوبتی محیط ریشه به چهار ربع تقسیم‌بندی می‌گردد که از بالا به پایین در ربع اول که شامل بخش اصلی سطح‌الارض است، خاک ٤٠ درصد نیاز آبی گیاه، ربع دوم ۳۰ درصد، ربع سوم ۲۰ درصد و ربع آخر ۱۰ درصد رابه شکل تبخیر و تعرق مرتفع می‌سازد (شکل ۵-۲). به طوریکه از شکل پیداست، حاصل آبی که در هر ربع از محیط ریشه صرف تبخیر و تعرق می‌شود، به جا گذاشتن املاح محلول مربوطه است که پس از شستشوی آن به طبقه زیرین بر غلظت محلول خاک ربع زیرین می‌افزاید (شکل ۵-۲) به علاوه فرض بر این است از حجم کل آب مصرفی حدود ۱۵ درصد مربوط به برخه آبشوئی و ۸۵ درصد آن صرف تعرق گیاهی و تبخیر از سطح خاک می‌شود.

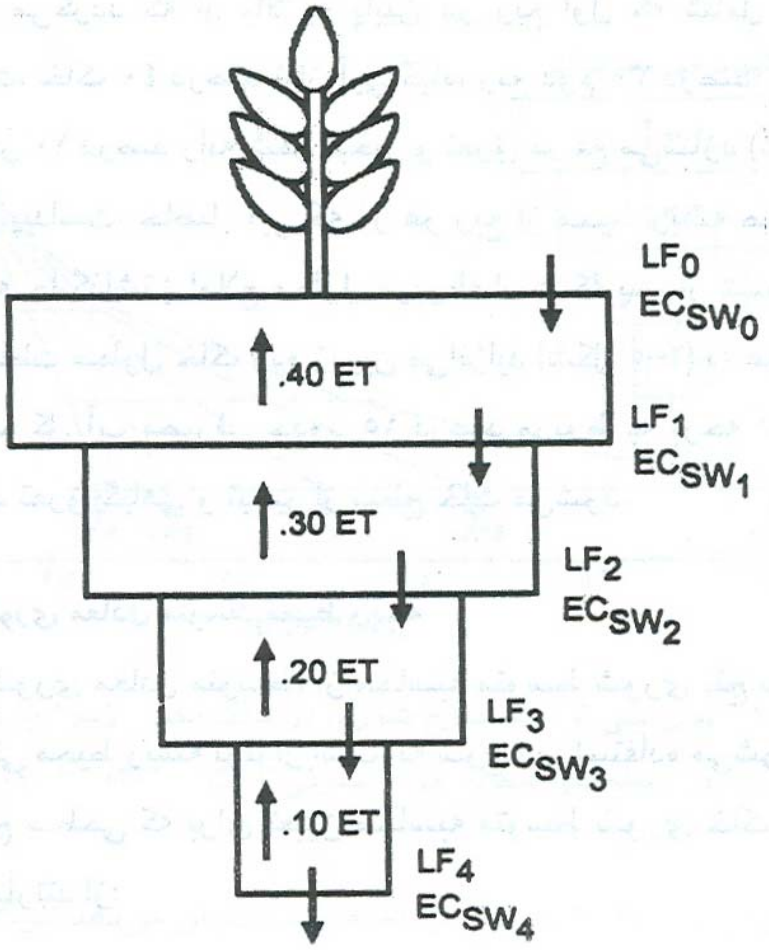
مثال ۲- تعیین شوری معادل متوسط محیط ریشه

برای تعیین شوری معادل متوسط، از محاسبه متوسط شوری پنج سطحی که در مدل جذب رطوبتی محیط ریشه برقرار است، به شرح زیر استفاده می‌شود:

توضیح – پنج سطحی که برای تعیین محاسبه متوسط شوری خاک محیط ریشه به کار می‌رود عبارتند از:

۱- سطح خاک (EC_{sw0})
۲- بخش زیرین ربع اول محیط ریشه که در زیر سطح خاک واقع شده است (EC_{sw1}).
۳- بخش زیرین ربع دوم محیط ریشه که در زیر سطح ربع اول واقع شده است (EC_{sw2}).
٤- بخش زیرین ربع سوم محیط ریشه که در زیر سطح ربع دوم واقع شده است (EC_{sw3}).

۵- بخش زیرین ربع آخرین ربع از کل عمق توسعه ریشه که در زیر سطح سوم واقع شده است (EC_{sw4}) که شوری این قسمت از عمق معادل شوری زه‌آب می‌باشد (ES_{dw}).



شکل ۵-۲- چهار ربع عمق توسعه ریشه و توزیع درصد آب، برخه آبشوئی و شوری خاک مربوط به هر ربع از محیط ریشه

به ازاء فرض مسئله برای سهم آبشوئی برابر ۰/۱۵ از طریق معادله زیر می‌توان میزان کل آب مصرفی (A.W) را که شامل نیاز آبی گیاه و نیز حجم مربوط به برخه آبشوئی است برآورد کرد:

$AW = ET / 1\text{-}LF = 1000 \div 0.85 = 1176$ میلیمتر آب

از آنجا که اصولاً تمامی آبی که به سطح خاک جاری می‌شود عملاً املاح محلول سطحی را شستشو داده و با خود به طبقات زیرین حمل می‌کند بنابراین شوری آب خاک سطح مزبور (EC_{sw0}) برابر شوری آب آبیاری خواهد بود. به علاوه برخه آبشوئی این محل نیز برابر واحد خواهد بود (LF_o=1). در این صورت شوری آب زهکشی سطح خاک برابر است با:

$$EC_{dwo} = EC_{sw0} = EC_w / LF_0 = 1/1 = 1 \text{ dS/m}$$

شوری آب خاک هر ربع از عمق توسعه ریشه یا شوری زه‌آب مزبور (EC_{sw}) از طریق تعیین خارج قسمت شوری آب آبیاری هر سهم آبشوئی (۵-۱) به دست می‌آید. یعنی از به کارگیری معادله (۵-۱) و جایگزینی در معادله (۵-۲) $EC_{sw}=EC_w/LF$ ، خواهیم داشت:

$$LF= \frac{\text{ارتفاع آب زهکشی}}{\text{ارتفاع آب مصرفی}} \quad \text{و} \quad EC_{SW} = EC_W / LF$$

در زیر بخش ربع اول محیط ریشه:

$$LF_1 = \frac{1170 - .40(1000)}{1176} = 0.66$$

$$EC_{SW1} = EC_W / LF1 = 1.5 \text{ dS/m}$$

در زیر بخش ربع دوم:

$$LF_2 = \frac{1176 - .40(1000) - .30(1000)}{1176} = 0.40$$

$EC_{SW2} = EC_W / LF_2 = 2.5$ dS/m

در زیر بخش ربع سوم:

$$LF_3 = \frac{1176 - .40(1000) - .30(1000) - .20(1000)}{1176} = 0.23$$

$EC_{SW3} = EC_W / LF_2 = 3.4$ dS/m

در زیر بخش ربع چهارم:

$$LF_4 = \frac{1176 - .40(1000) - .30(1000) - .20(1000) - .10(1000)}{1176} = 0.15$$

$EC_{SW4} = EC_W / LF_4 = 7.6$ dS./m

EC_{SW4} برابر با EC_{dW} می‌باشد که از زیر منطقه توسعه ریشه خارج می‌شود.

برای به دست آوردن میزان متوسط شوری آب خاک در محیط ریشه، از تعیین متوسط مقادیر پنج شوری محاسبه شده بالا استفاده می‌شود:

نتیجه آنکه،

$$EC_{SW} = \frac{EC_{SW_0} + EC_{SW_1} + EC_{SW_2} + EC_{SW_3} + EC_{SW_4}}{5}$$

$$EC_{SW} = \frac{1.0 + 1.5 + 2.5 + 4.3 + 6.7}{5} = 3.2 dS/m$$

محاسبات بالا مبین آنست که مقدار متوسط شوری آب خاک در محیط ریشه ۳/۲ برابر غلیظ‌تر از آب آبیاری مصرفی است.

۵-۳- اثرات شوری در رابطه با خاک و گیاه

هدف اصلی از آبیاری تأمین آب کافی و به موقع برای رشد محصولات زراعی است. با انجام عملیات آبیاری می‌توان از وقوع تنش رطوبتی، به ویژه در دوره‌هائی که گیاه نسبت به کم آبی حساس است، جلوگیری کرد. از آنجا که طی آبیاری‌های مکرر، املاح محلول آب، در خاک باقی می‌ماند (هرگاه عملیات آبشوئی به خوبی انجام نگیرد) با گذشت زمان نمک‌های محلول آب آبیاری در خاک تجمع می‌یابد و با افزایش املاح محلول خاک به تدریج موجبات تنش رطوبتی در خاک فراهم شده و فواصل آبیاری‌ها را کوتاه می‌کند. بنابراین درک مفهوم این اصل که جمع شدن نمک‌های محلول در خاک و یا افزایش هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک، باعث کم شدن پتاسیل آب در خاک می‌شود، اهمیت دارد. زیرا ادامه این امر باعث جذب کمتر آب توسط گیاه شده و عملکرد محصول زراعی کاهش می‌یابد. بنابراین انتخاب راه‌های مدیریتی که بتوان با اجرای آنها از کاهش عملکرد محصول در اثر تنش شوری جلوگیری کرد، ضروری می‌باشد. مثلاً مشاهدات متعدد نشان می‌دهد که غیر از گیاهان طبیعی مقاوم به شوری، اکثر محصولات زراعی در مقابل شوری حساسیت دارند و عموماً میزان کاهش عملکرد با افزایش درجه شوری خاک نسبت مستقیم دارد.

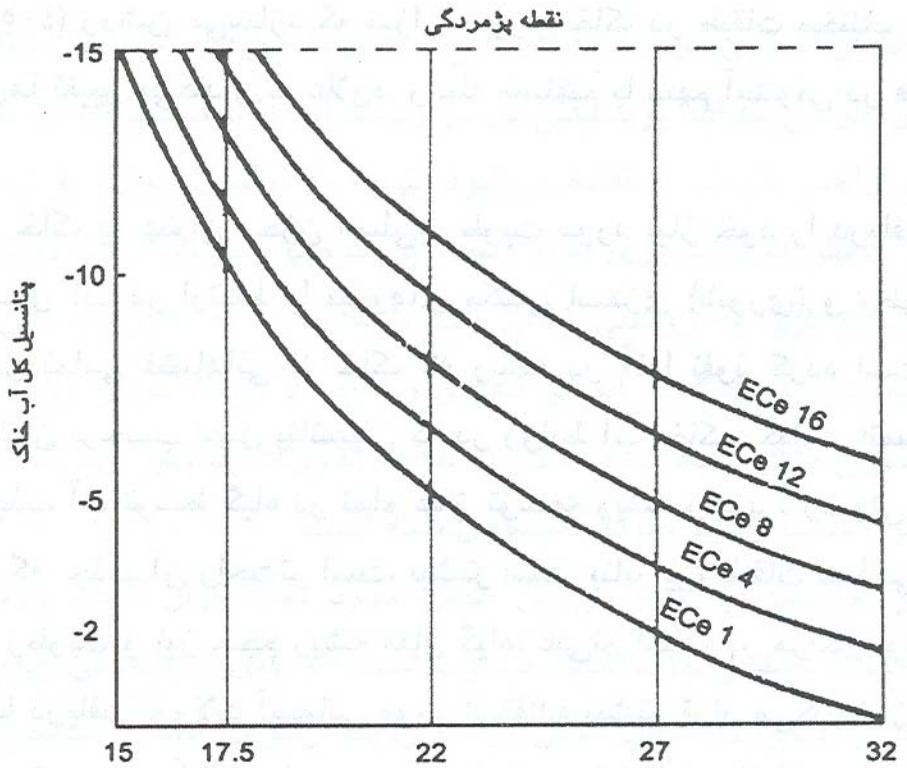
گیاه در شرایط طبیعی با اعمال نیروی مکش بیش از مکش خاک برای نگهداری آب، رطوبت را دریافت می‌کند. چنانچه گیاه نتواند با به کارگیری کلیه تعدیل‌های درونی و با صرف انرژی مورد نیاز برای جذب آب از خاک، آب مورد نیاز خود را دریافت کند، دچار تنش آبی خواهد شد. شرایط متعددی این حالت را برای گیاه فراهم می‌کند که از جمله خشکی محیط ریشه به علت کم آبی و دیگری وجود نمک‌های محلول زیاد در اطراف ریشه است. در صورت اخیر گیاه برای به دست آوردن رطوبت مورد نیاز مجبور به صرف انرژی بیشتری است که این نیروی اضافی در جهت پتانسیل اسمزی خاک مصرف می‌شود. تحت این شرایط که به علت افزایش املاح محلول در خاک بیش از آستانه تحمل گیاه است، تنش رطوبتی در گیاه ایجاد می‌شود که اگر به مدت طولانی ادامه یابد، به علت عدم توانایی گیاه برای جذب آب از

خاک، آثار تنش خشکی و کمبود آب در اندام‌های هوائی گیاه به صورت کاهش رشد مشاهده خواهد شد. اثرات اسمزی یا پتانسیل اسمزی در خاک را با ذکر مثال به روشنی می‌توان دریافت. هرگاه دو خاک مشابه که یکی دارای املاح محلول کم و دیگری محتوی املاح محلول نسبتاً زیاد که در گروه خاک‌های شور قرار گیرد، باشد، حرکت آب در خاک با شوری کم به سهولت بیشتری به درون گیاه صورت می‌گیرد. هرگاه آب خاک، در مسیر حرکت به طرف گیاه به محیط شور برسد به تبع آن، گیاه نیز به ازاء جذب هر واحد آب انرژی بیشتری نسبت به محیط غیر شور صرف خواهد کرد.

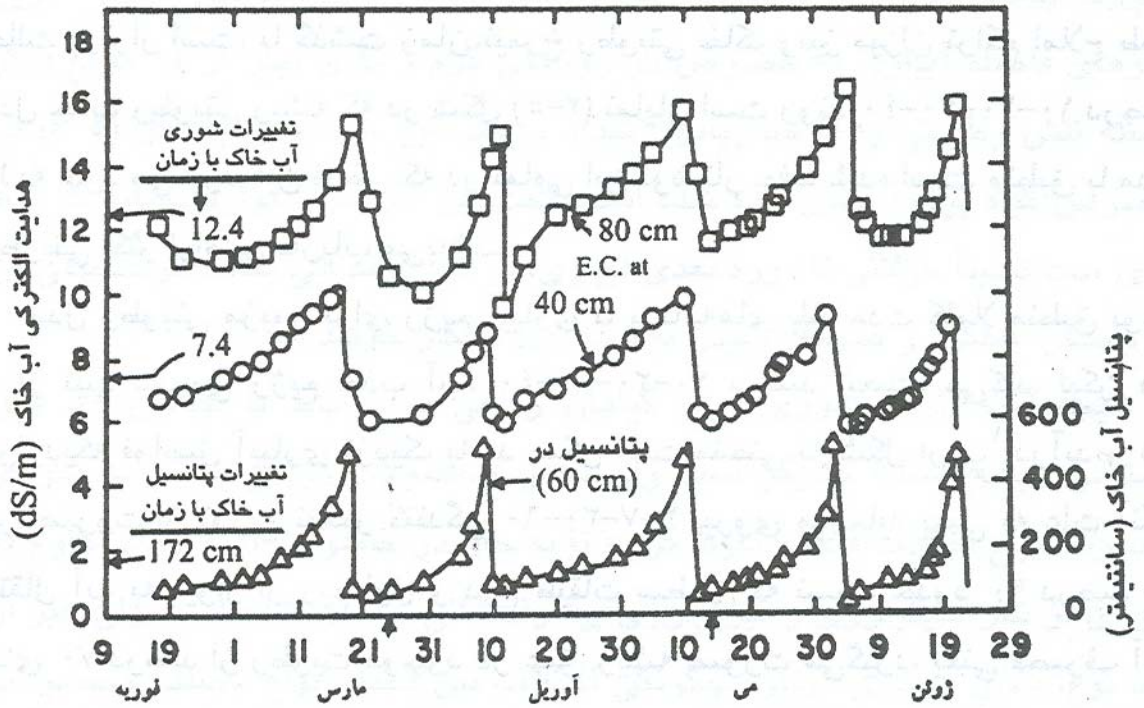
بطور کلی اختلاف پتانسیل آب خاک شور و خاک غیر شور برای جذب آب توسط گیاه مربوط به جزء اسمزی خاک می‌باشد که در خاک‌های شور بیشتر است. این اختلاف مکش با افزایش شوری خاک زیادتر می‌شود. منحنی‌های شکل (٥-٣) نشان دهنده آنست که هرچه میزان شوری محیط بیشتر می‌شود آب با شدت کمتری توسط گیاه جذب می‌شود. یعنی تنش شوری مشابهت نزدیک به تنش خشکی دارد زیرا هر دو فرآیند منجر به کاهش جذب آب و کاهش رشد گیاه می‌شود.

- رابطهٔ بین نقصان رطوبت و افزایش شوری خاک

در مبحث گذشته اثرات غلظت املاح خاک در رابطه با کم شدن میزان آبشوئی در جهت طبقات ربعی خاک به سمت پایین نشان داده شد و معلوم گردید که با افزایش عمق در منطقه توسعه ریشه هر چه سهم آبشوئی کمتر شود میزان املاح محلول باقیمانده در خاک یا شوری خاک افزوده می‌گردد. به همین نحو هرچه برمیزان خشکی خاک افزوده شود آب قابل دسترس گیاه طی روند نزولی در هر بخش از طبقات نفوذی ریشه در خاک نقصان خواهد یافت. زیرا هر دو مقدار، آب- خاک در ارتباط با فاز جامد خاک (پتانسیل آب-خاک) ونیز آب خاک مربوط به شوری خاک (پتانسیل اسمزی) در فاصله بین دو آبیاری رو به نقصان می‌رود و گیاه با گذشت زمان دچار تنش رطوبتی می‌گردد. شکل (٥-٤) این تغییرات را در رابطه با شوری و سهم آبشوئی نسبت به عمق خاک نشان می‌دهد.



شکل ۵-۳- تغییرات منحنی حفظ رطوبت خاک



شکل ۵-٤- تغییرات شوری و رطوبت خاک (EC_{sw}) در فاصله آبیاری در رابطه با ذخیره رطوبتی خاک و تبخیر- تعرق در آبیاری یونجه (رودن، ۱۹۷۲)

شکل (٥-٤) روشن می‌سازد که میزان شوری خاک در طبقات مختلف در فاصله بین آبیاری‌ها تغییر می‌کند و به علاوه رابطه مستقیم با سهم آبشوئی در هر طبقه از خاک دارد.

گیاه از خاک به عنوان مخزن اصلی، رطوبت مورد نیاز خود را دریافت می‌کند. قابلیت وصول آب در ارتباط با نیروهای مکشی اسمزی (شوری) و رطوبت خاک است که در تمامی فضاهائی از خاک که ریشه در آنها نفوذ کرده است، یکسان نمی‌باشد. لیکن برحسب اصل پتانسیلی که در روابط آب-خاک- گیاه و اتمسفر حاکم می‌باشد، جذب آب توسط گیاه در تمام عمق توسعه ریشه وجود دارد ولی شدت آن در مناطقی که جذب آن راحت‌تر است، بیشتر است. بنابراین، طبقات سطحی خاک که هم از نظر رطوبت و نیز حجم ریشه فعال گیاه، غنی‌تر است، در مراحل اولیه بعد از آبیاری و یا دریافت نزولات آسمانی مورد استفاده بیشتر قرار می‌گیرد. از اینرو در این حالت به تبع چون طبقه سطحی مورد آبشوئی بیشتر است (شکل ٥-٢)، در نتیجه دارای مکش اسمزی کمتر از طبقات زیرین می‌باشد. از طرفی شوری خاک در بخش‌های مختلف از محیط ریشه یکسان نمی‌باشد و با حالت دینامیکی که در این حالت برقرار است، با گذشت زمان نیمرخ رطوبتی خاک ونیز میزان تراکم املاح طبق مدل جذب رطوبتی ریشه که در شکل (٥-٢) نمایان است روند ٤٠-٣٠-٢٠-١٠ درصد را به خود می‌گیرد. این فرض که در تمامی این نوشتار حفظ شده است، منطبق با مدل رطوبتی اکثر اراضی فاریاب می‌باشد.

مدل رطوبتی مزبور برای رژیم آبیاری با برنامه‌های بلند مدت کاملاً منطبق بوده و از تیپ عمومی رژیم جذب آب، ٤٠-٣٠-٢٠-١٠ درصد تبعیت، می‌کند. لیکن در مواردیکه فواصل آبیاری نزدیک باشد ممکن است منحنی به شکل اریب[1] درآید و در این صورت از توزیع تبخیر کنندگی ٦٠-٣٠-٧-٣ پیروی می‌نماید یعنی به علت آنکه انتقال آب به نیوار از ربع اول و دوم طبقات سطحی به نسبت حدود ٩٠ درصد به جای ٧٠ درصد از رطوبت موجود در عمق ریشه صورت می‌گیرد، یعنی مصرف آب در اثر تبخیر و تعرق در نیمی از نیمرخ رطوبتی سطحی خاک بسیار زیاد است، تحت این شرایط اعمال مدیریت قوی در جهت تأمین آب و به تبع افزایش پتانسیل آب خاک

1 - Skewed

و نقصان فشار اسمزی مربوط به اثراملاح محلول به ویژه در شرایط استفاده از آب نسبتاً شور، الزامی خواهد بود. یعنی در مواردیکه آب با کیفیت پایین از نظر شوری، در آبیاری اراضی فاریاب استفاده می‌شود، توجه به فواصل آبیاری و کم کردن این فاصله، در کاهش اثرات شوری مؤثر است. این موضوع در شکل (٥-٤) در عمق‌های ٤٠ و٨٠ سانتیمتری به روشنی نشان داده شده است. به علاوه در این شکل اثر تغییرات پتانسیل آب خاک در ابتدای آبیاری و تغییرات آن تا آخرین روزهای آبیاری بعدی به خوبی نشان داده شده است. به علاوه تغییرات پتانسیل آب خاک بر حسب بار در محور سمت راست نمودار مشخص شده است.

به طور خلاصه از آنچه در این بخش مورد بحث قرار گرفت روشن گردید هنگامیکه طبقات سطحی خاک نسبتاً مرطوب است، اثر شوری لایه‌های زیرین خاک از اهمیت کمتری برخوردار است. لیکن در مواردیکه رطوبت طبقات سطحی به وسیله گیاه جذب می‌شود و نیز در اثر شدت زیاد تبخیر طبقات مزبور، تحت چنین شرایطی، ریشه گیاه مجبور است برای تأمین آب از طبقات زیرین رطوبت جذب کند. در این صورت پدیده شوری و در نتیجه مکش اسمزی به ویژه با نزدیک شدن آخرین روزهای فاصله آبیاری به خصوص در روزهای گرم و بادی بیش از هر موقع دیگر مسئله تنش رطوبتی را تا حد زیادی تشدید می‌کند. این موضوع در شکل (٥-٤) در خصوص گیاه یونجه نشان داده شده است. تحت این شرایط و موارد مشابه که گیاه برای مدت نسبتاً طولانی تا دوره بعدی آبیاری، در تنش رطوبتی بماند، اثرات منفی آن در نقصان عملکرد و صدمه رسیدن به محصول آشکار خواهد شد.

نتیجه آنکه اثرات شوری روی گیاهان زراعی در ارتباط با نقصان آب قابل دسترس ریشه مشابه یکدیگر است ولی تحمل محصولات زراعی نسبت به شوری عصاره اشباع اختلاف فاحش دارد. گرچه تا به حال در خصوص تهیه ارقام مقاوم به شوری از نظر سیتولوژی و فیزیولوژی پیشرفت‌هائی حاصل شده است ولی غیر از چند نوع، دلائل روشنی درباره چگونگی اختلاف بین تحمل انواع مختلف محصولات زراعی نسبت به شوری ارائه نشده است. از آنجا که استفاده از آب شور در سطح جهانی روبه توسعه می‌باشد، هر روز کاربری و مرغوبیت بیش از پیش محصولاتی که نسبت به محیط شور و یا سدیمی مقاومت نشان می‌دهند اهمیت بیشتری می‌یابد

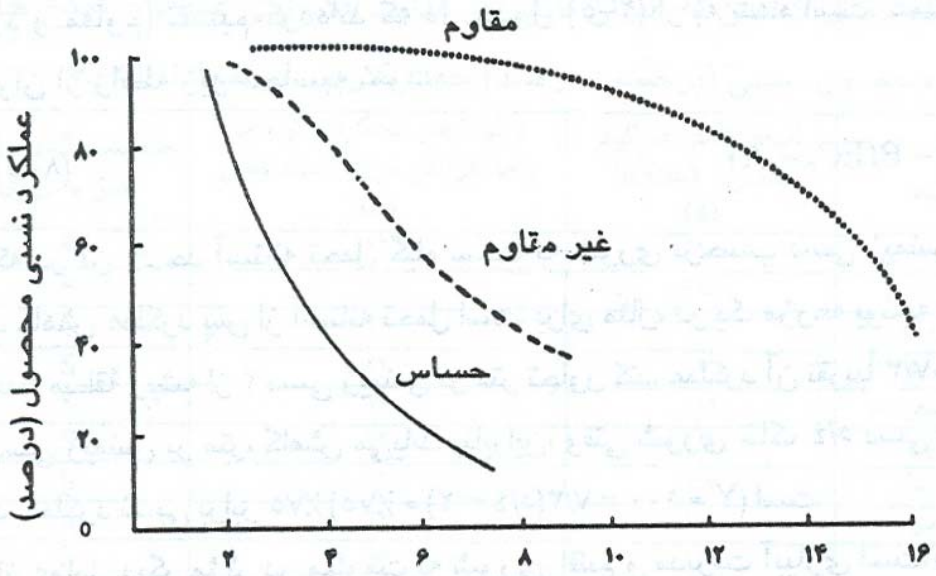
به خصوص اگر تحت شرایط مزبور پتانسیل عملکرد خوبی از خود نشان دهند. از این رو در بررسی طیف تحمل گیاهان زراعی، به شوری، عموماً بین ۸ تا۱۰ برابر اختلاف درجه مقاومت وجود دارد که در شرایطی که مدیریت آبیاری (آبشوئی) اجازه بدهد از طریق انتخاب گیاه مقاوم‌تر امکان کشت محصول مناسب میسر خواهد بود. این مبحث بعداً به طور مفصل خواهد آمد.

۵-۴- اثرات شوری بر محصولات زراعی

مشاهدات متعدد بیانگر این است که غیر از گیاهان خیلی مقاوم به شوری، اکثر محصولات در برابر شوری حساس هستند و عموماً میزان کاهش عملکرد با افزایش درجه شوری خاک نسبت مستقیم دارد.

درباره سنجش و ارزیابی اثرات شوری در کاهش عملکرد محصول نسبت به گیاه شاهد روش‌های گوناگونی به کار رفته است که در اینجا خیلی مختصر به برخی از اهم آنها اشاره خواهد شد. در دهه‌های ١٩٤٠ و١٩٥٠ گروه کارشناسان آزمایشگاه شوری آمریکا در ریورساید کالیفرنیا پیشنهاد کردند که طبق قرار داد مقاومت هر گیاه نسبت به شوری با هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک در منطقه توسعه ریشه، که باعث کاهش میزان معینی عملکرد محصول می‌گردد، سنجیده شود. این مقدار در کارهای تحقیقاتی برابر ٥٠ درصد کاهش عملکرد است، ولی برای تعیین میزان مقاومت به شوری با در نظر گرفتن جنبه‌های اقتصادی کشاورزی، فقط ١٠ تا ١٥ درصد کاهش عملکرد نسبت به گیاه شاهد قابل قبول می‌باشد.

مقاومت انواع مختلف محصولات زراعی نسبت به تنش شوری به طور اختصار در منحنی‌های شکل (٥-٥) نشان داده شده است. هدایت الکتریکی مذکور برابر هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک در منطقه توسعه ریشه می‌باشد. شرایطی که برای محصول نامبرده در نظر گرفته شده است در شرایط متعارفی بوده و بطوریکه ارقام مورد کشت، کنترل آفات، امراض و علف‌های هرز، عملیات کشت و کار و به خصوص حاصلخیزی در حد اپتیمم می‌باشد. از ذکر این نکته نباید خودداری کرد که تا کنون اطلاعات دقیق مربوط به روابط بین درجات مختلف شوری با عوامل ذکر شده نظیر حاصلخیزی، آب و غیره محدود می‌باشد.



شکل۵-۵- منحنی‌های مقاومت محصولات زراعی نسبت به شوری گیاهان مقاوم (نظیر جو، پنبه...) و نیمه مقاوم (نظیر گیاهان علوفه‌ای، ذرت،...) و حساس (نظیر لوبیا، درختان میوه،...)

گیاهان در یک قسمت از دوره رشدشان ممکن است بیش از دوره‌های دیگر نسبت به شوری حساسیت داشته باشند. آزمایش نشان می‌دهد که بعضی از گیاهان در هنگام جوانه زدن به شوری ٤ تا٥ دسی زیمنس بر متر حساس می‌باشند ولی پس از طی دوره جوانه‌زنی ممکن است تا حدود ۱۰ تا ۱۲ دسی زیمنس بر متر را نیز تحمل کنند، که بطور مثال می‌توان از چغندرقند نام برد. بعضی دیگر در ابتدای دوره رشد بیش از سایر مواقع نسبت به شوری مقاومت نشان می‌دهند مثلاً برنج بین ٥ الی ٦ دسی زیمنس بر متر به خوبی جوانه می‌زند ولی هر گاه در هنگام پنجه‌زنی و ساقه رفتن، شوری از ٥ الی ٦ دسی زیمنس بر متر تجاوز کند رشد گیاه به شدت محدود می‌شود. برنج در موقع تشکیل دانه به مقدار متوسط از شوری مقاوم بوده و هر گاه میزان شوری از آن مقدار تجاوز کند عملکرد تا حدود ٥٠ درصد کاهش می‌یابد. محصولاتی نظیر جو و پنبه به عکس با آنکه ممکن است در اثر شوری از نظر رشد کوتاه باقی بمانند ولی محصول آنها در حد مطلوب باقی خواهد ماند.

ماس و هافمن (۱۹۹۷) برای گروه‌های مختلف محصولات، مثل محصولات زراعی، علوفه‌ای، سبزی‌ها و میوه‌جات و گیاهان تزئینی اطلاعاتی را در زمینه عملکرد نسبی محصول به صورت تابع خطی از EC_e محلول خاک محاسبه و ارائه نموده و در خصوص تحمل به نمک، محصولات را به چهار دسته (حساس، نیمه حساس، نیمه

مقاوم و مقاوم) تقسیم کرده‌اند که در جدول (۵-۲) ارائه شده است. عملکرد نسبی را می‌توان از رابطه زیر محاسبه نمود:

$$Y = 100 - B(EC_e - A) \qquad (۸-۵)$$

که در آن A حد آستانه تحمل گیاه نسبت به شوری برحسب دسی زیمنس بر متر و B شیب کاهش عملکرد پس از آستانه تحمل است. برای مثال، در یک مزرعه یونجه هر گاه شوری متوسط منطقهٔ ریشه از ۲ دسی زیمنس بر متر تجاوز کند، عملکرد آن تقریباً ۷/۳ درصد به ازای هر دسی زیمنس بر متر، کاهش می‌یابد. بنابراین، وقتی شوری خاک ٥/٤ دسی زیمنس بر متر باشد، عملکرد نسبی برابر ۷۵٪ (Y = ۱۰۰ − ۷/۳(۵/٤ − ۲) = ۷۵٪) است.

از عوامل دیگر مؤثر در مقاومت به شوری، اقلیم و مدیریت آبیاری است. بعضی گیاهان در آب و هوای گرم و خشک نسبت به مناطق سرد و مرطوب به شوری حساس‌تر می‌باشند. رژیم آبیاری نیز از عوامل مؤثر در تغییرات میزان اثر شوری به گیاه به شمار می‌آید. بلافاصله پس از هر آبیاری میزان حجم آبی که فضای بین ذرات خاک را اشغال کرده است حداکثر می‌باشد و در مقابل غلظت املاح محلول در حداقل است، بمرور که از حجم آب از طریق تبخیر و مصرف گیاهی کم می‌شود به غلظت املاح محلول افزوده می‌گردد. به طوریکه در شرایط نرمال هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک معمولاً ۲ تا ۱۰ مرتبه بیشتر از میزان هدایت الکتریکی آب آبیاری می‌باشد. بنابراین هرچه از هنگام آبیاری بگذرد، محلول خاک از نمک‌های محلول غلیظتر و اثر سوء آن بر روی محصول بیشتر خواهد بود. به همین جهت تحت چنین شرایطی آبیاری مکرر، از اثر زیان بخش شوری روی محصول می‌کاهد. با توجه به اینکه آب‌هائی که عموماً در مناطق گرم و خشک به مصرف کشاورزی می‌رسد محتوی املاح محلول زیاد است، بدیهی است که در هر مرتبه آبیاری مقداری املاح در خاک باقی می‌ماند که به مراتب بیش از مقدار احتیاج گیاه می‌باشد. طی آبیاری مکرر، املاح متراکم شده و سرانجام به محصول صدمه می‌رساند. به همین جهت در تحت چنین شرایطی نه تنها بایستی به تعداد دفعات آبیاری افزود، بلکه در هر آبیاری بایستی مقداری بیشتر از نیاز گیاه، آب به خاک داد تا موجبات تراکم املاح فراهم نگردد. این مقدار آب اضافی همانطور که قبلاً اشاره شد به ضریب آبیاری یا ضریب آبشوئی موسوم است که در فصل مربوط به کنترل شوری به وسیله آبشویی شرح داده شده است.

جدول ۵-۲- حد تحمل گیاهان به عنوان تابعی از هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک، مقدار محصول نسبی (برحسب درصد) جهت کاربرد در معادله (۵-۸)

ردیف	گیاه[1]	آستانه کاهش عملکرد محصول (dS/m) (a)	شیب کاهش عملکرد به ازاء هر واحد افزایش پس از آستانه تحمل (b)	طبقه‌بندی گیاه از نظر تحمل به شوری
۱	لوبیا	۱	۱۹	S
۲	بادام	۱/۵	۱/۹	S
۳	زردآلو	۱/۶	۲۴	S
۴	هویج	۱	۱۴	S
۵	گریپ‌فروت	۱/۸	۱۶	S
۶	پیاز	۱/۲	۱۶	S
۷	پرتقال	۱/۷	۱۶	S
۸	هلو	۱/۷	۲۱	S
۹	آلو	۱/۵	۱۸	S
۱۰	توت‌فرنگی	۱	۳۳	S
۱۱	یونجه	۲	۷/۳	MS
۱۲	کلم	۱/۸	۹/۷	MS
۱۳	شبدر	۱/۵	۱۲	MS
۱۴	شبدر برسیم	۱/۵	۵/۷	MS
۱۵	ذرت علوفه‌ای	۱/۸	۷/۴	MS
۱۶	ذرت دانه‌ای	۱/۷	۱۲	MS
۱۷	خیار	۲/۵	۱۳	MS
۱۸	کتان	۱/۷	۱۲	MS
۱۹	انگور	۱/۵	۹/۶	MS
۲۰	کاهو	۱/۳	۱۳	MS
۲۱	بادام زمینی	۱/۷	۲۹	MS
۲۲	فلفل	۱/۵	۱۴	MS
۲۳	سیب زمینی	۱/۷	۱۲	MS
۲۴	تربچه	۱/۲	۱۳	MS
۲۵	شالی (برنج)	۳	۱۲	MS
۲۶	اسفناج	۲	۷/۶	MS
۲۷	نیشکر	۱/۷	۵/۹	MS
۲۸	گوجه‌فرنگی	۲/۵	۹/۹	MS
۲۹	ذرت شیرین	۱/۷	۱۲	MS
۳۰	جو علوفه‌ای	۶	۷/۱	MT
۳۱	چغندر	۴	۹	MT
۳۲	شوژا	۵	۲۰	MT
۳۳	گندم	۶	۷/۱	MT
۳۴	جو دانه‌ای	۸	۵	T
۳۵	خرما	۴	۳/۶	T
۳۶	چغندرقند	۷	۵/۹	T
۳۷	پنبه	۷/۷	۵/۲	T

۱- پسته، انار، انجیر و روناس نیز از گیاهان مقاوم به شوری می‌باشند.

S= حساس MS= نیمه حساس MT= نیمه مقاوم T = مقاوم

۶. جنبه‌های زیست محیطی استفاده از آب شور در کشاورزی آبی

۶-۱- کلیات

با افزایش روز افزون جمعیت، تأمین آب برای رفع احتیاجات بشر از قبیل تولید غذا، کالاهای صنعتی و شرب به صورت یک مانع مهم در امر توسعه و پیشرفت نواحی مختلف و جوامع ساکن در آن درآمده است. با توجه به رشد جمعیت و صنعت طی چند دهه اخیر، نگرش بشر به محیط زیست، به عنوان عرصه‌ای که کلیه فعالیت‌ها در آن صورت می‌گیرد تا حدودی تغییر یافته و موجبات تغییر دیدگاه جهانی به محیط زیست را فراهم کرده است. در ارتباط با مسایل زیست‌محیطی موارد ذیل را باید در نظر گرفت:

۱- شناسائی اثرات
۲- پیش‌بینی و سنجش اثرات
۳- ارزیابی و تفسیر اثرات
٤- شناسائی و نیازهای تغییر و کاهش اثرات
٥- شناسائی و تعیین شاخص‌های آگاه کننده
٦- انتقال اطلاعات

شناسائی، تعیین و سنجش تأثیرات متقابل بشر و طبیعت بر یکدیگر اولین قدم در روند توسعه منابع آب می‌باشد که به سه قسمت محیط طبیعی- فرآیند- بازده تفکیک می‌گردد. بایستی در نظر داشت که هر گونه تغییر در محیط طبیعی که به عنوان ورودی فرآیند عمل می‌کند، موجب انباشته شدن و تغییرات جانبی و محدودیت عملکرد فرآیند گشته و در نهایت بازده سیستم تولید، اقتصاد را پر هزینه‌تر از حد پیش‌بینی شده خواهد نمود.

تقریباً ۸۰٪ کل آب مصرفی جهان به بخش کشاورزی تخصیص می‌یابد. آبیاری در سطح وسیعی از مناطق خشک باعث ایجاد تغییراتی در محیط زیست می‌شود که تغییر ساختمان خاک و آلودگی محیط زیست از جمله این تغییرات است. از موارد دیگر آلودگی‌ها می‌توان به آبیاری با آب‌های شور و لب شور و همچنین آبیاری با آب‌های آلوده، استفاده مستقیم از صنایع و به کارگیری کود و آفت‌کش‌ها اشاره کرد.

از شروع تمدن کشاورزی، شوری در نواحی تحت پوشش کشاورزی یک عامل بازدارنده رشد گیاهان بوده است. تمام آب‌های آبیاری حاوی نمک‌های معدنی محلول هستند. اما غلظت و ترکیب نمک‌های حل شده به منبع آب، زمان و فصل رشد بستگی دارد. از آنجائی که نمک‌ها می‌توانند موجب اختلال در رشد گیاه گردند، شناخت غلظت و ترکیب املاح آب آبیاری در زمان‌های مختلف سال برای مدیران صنعت آب ضروری به نظر می‌رسد. به طور کلی کاتیون‌های غالب شامل یون‌های مثبت سدیم (Na^+)، کلسیم (Ca^{2+})، منیزیم (Mg^{2+})، پتاسیم (K^+) و آنیون‌های غالب یون‌های منفی کلرو (Cl^-)، سولفات (SO_4^{2-})، بیکربنات (HCO_3^-)، پتاسیم (K^+) می‌شود. بر (B) نیز در آب وجود دارد و ممکن است در غلظت‌های بالا در آب زیر زمینی موجود باشد اگرچه به ندرت در منابع آب سطحی یافت می‌شود. هر چند بر(B) یک عنصر کم مصرف برای گیاهان به حساب می‌آید، اما حتی در غلظت‌های پائین، وجود آن بیش از اندازهٔ مورد نیاز رشد گیاه، سمی و مضر است.

در این قسمت لازم است تا کشاورزی پایدار را تعریف نماییم. کشاورزی پایدار عبارتست از مدیریت و حفاظت منابع طبیعی پایه و هدایت و راهبری تغییرات تشکیلاتی و تکنولوژیکی به نحوی که بتواند نیازهای مستمر نسل‌های حال و آینده را تضمین نماید. چنین توسعه پایداری در بخش کشاورزی، جنگل داری، شیلات و... موجب حفظ و بقای منابع آب و خاک و گونه‌های گیاهی و جانوری شده و از نظر زیست محیطی، غیر مخرب از لحاظ فنی، مطلوب و از نظر اقتصادی و اجتماعی نیز مقرون به صرفه و قابل قبول است (فائو، ۱۹۸۹).

می‌توان مخاطرات زیست محیطی در ارتباط با آبیاری به طور عموم و استفاده از آب‌های شور به طور اخص را به صورت ذیل دسته‌بندی نمود:

۱- افت حاصلخیزی خاک به خاطر شوری و ماندآبی
۲- آلودگی منابع آب به خاطر نمک‌ها و سموم بر اثر زهکشی
۳- تخریب اکوسیستم‌های مربوطه
٤- به خطر افتادن سلامتی عمومی به دلیل آلودگی آب و ماندآبی شدن

۶-۲- آلودگی آب

مهمترین هدف مدیریت زیست محیطی منابع آب، ایجاد نوعی توازن میان پیش شرط‌های طبیعی منابع آب، نیازهای برنامه و طرح‌های منطقه است که کاربری‌های متعددی دارد. تاکید بر تأمین آب مورد نیاز کاربری‌ها، بنابر ویژگی‌های توسعه اقتصادی منطقه مشکلاتی را ایجاد می‌کند که برای فائق آمدن به آنها توجه به موارد زیر ضروری است.

- ایجاد وحدت میان جنبه‌های محیطی و اجتماعی– اقتصادی مدیریت بهره‌برداری از آب با توجه به ساختارها و نحوه اداره آنها.
- برنامه‌های بلند مدت در امر کیفیت آب با توجه به توانایی‌های منطقه.
- درک بهتر فرآیندهای مؤثر در کیفیت آب.
- آموزش همگانی و مشارکت مردم در برنامه‌های حفاظت.

هرچند آبیاری در صنعت کشاورزی موجب افزایش چشمگیر محصولات شده، ولی آبیاری نامناسب و غیر اصولی، هدر رفتن آب، آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی، نابود نمودن حاصلخیزی خاک و تغییر در اکولوژی مناطق وسیعی را به همراه دارد. در بسیاری از مناطق، آلوده شدن منابع آب توسط آبیاری موجب به خطر افتادن سلامتی انسان‌ها شده و هزینه تصفیه آب برای مصارف خانگی و صنعتی را به شدت افزایش داده است. در بسیاری از مناطق آب‌های سطحی توسط انواع کودها، علف کش‌ها و نمک‌ها آلوده شده‌اند. مواد شیمیائی سمی، بسیاری از منابع آب را برای شرب و حتی برای آبیاری نامناسب کرده‌اند.

مخلوط کردن آب‌های شور و شیرین قابلیت استفاده از مجموع کل آب‌های آلوده به منظور آبیاری باروری تولید محصول و سلامتی مصرف کنندگان این گونه محصولات را به خطر می اندازد.

در سال‌های اخیر متوجه شده‌اند که شور شدن منابع آب بر اثر فعالیت‌های کشاورزی پدیده اصلی و گسترده‌ای است که به خودی خود برای آبیاری پایدار بیش از شوری خاک حائز اهمیت می‌باشد. در چند سال اخیر مشخص شده که عناصر

سمی همانند سلنیم (Se)، مولیبدیوم (Mb) و آرسنیک (As) موجود در زه‌آب‌های کشاورزی ممکن است مشکلاتی از نظر آلودگی پدید آورد که تداوم آبیاری در برخی از پروژه‌ها را تهدید کند. اگر آب نفوذ یافته به داخل خاک که بیش از نیاز گیاهان است از منطقه توسعه ریشه‌ها فراتر رود، این آب همراه با نفوذ عمیق آب‌های نشتی کانال‌ها اغلب نمک‌های بیشتری را در خاک‌ها و لایه‌های زیرین آب حل می‌نماید. هنگامی که چنین نمک‌های سیالی به آبگیرها انتقال یابند منبع آلودگی محسوب می‌شوند. این حالت در مورد نمک‌های آب آبیاری که به واسطه فرآیند تبخیر و تعرق در آب زهکشی تجمع یافته‌اند نیز صدق می‌کند. همان طوری که قبلاً اشاره شد منابع آلوده کننده دیگری که از آبیاری ناشی می‌شود وجود مواد شیمیائی نظیر آفت‌کش‌ها و کودها است. اینگونه مواد شیمیائی نیز ممکن است توسط آبشوئی به حرکت در آمده و به داخل زه‌آب‌ها تخلیه شوند.

گاهی اوقات، به منظور حفاظت از آب و افزایش کارایی استفاده از آن، زهاب اراضی کشاورزی به منابع آب بازگردانده می‌شود. این عمل با در نظر نگرفتن اثرات سوء زه‌آب‌ها بر منابع آب سطحی و زیرزمینی و قابلیت استفاده از منابع آب، عاقلانه نمی‌باشد. عموماً مخلوط‌سازی منابع آب موجب کاهش امکان استفاده از آن می‌گردد، حتی اگر فرآیند رقیق‌سازی با در نظر گرفتن حدود مجاز انجام گیرد. سازمان‌های ارزیابی‌کننده کیفیت آب، غلظت مجاز کل نمک‌ها و همچنین غلظت نمک‌های خاصی را به عنوان شاخصی از کیفیت آب در نظر می‌گیرند.

۶-۳- آلودگی خاک

با توجه به اهمیت خاک به عنوان منبع حیاتی تأمین غذا و ثبات حیات، این منبع همیشه مورد بهره‌برداری مستمر بشر قرار داشته است. بهره‌برداری بی‌رویه از خاک موجب گشته که مقادیر زیادی مواد زائد و آلاینده‌ها در خاک انتشار یابد. برخی از زائدات بشر از ترکیباتی تشکیل یافته‌اند که با محیط خاک بیگانه بوده و موجب اختلال در روند طبیعی یک سری ویژگی‌های خاک مانند خواص جذب و تبادل یون‌ها، میزان آب، pH، شیمی خاک و غیره خواهند شد. برای استمرار حیات و تغذیه همیشه نیاز بوده که بالاترین نسبت تولید بر بیوماس ترجیح داده شود و برای دستیابی به این

اهداف از روش‌های مختلف مانند آبیاری، استفاده از کودها، سموم، علف‌کش‌ها بهره گرفته شود. بنابراین آلودگی منابع خاک بستگی به چگونگی، نوع و پیامدهای ضایعات ورودی به خاک دارد. با توجه به اهداف و بنابر مسائل زیست محیطی در مدیریت منابع خاک از جهت کنترل آلودگی بایستی به نکات ذیل توجه داشت:

- برنامه‌ریزی صحیح آبیاری جهت پیشگیری از شستشوی املاح به خصوص در مناطق گرمسیری.
- کاهش سطح تبخیر برای بهبود خاک‌های شور.
- ممانعت از ماندآبی شدن اراضی، به جز در مواردی که بایستی نمک شوئی انجام گیرد.
- اجتناب از کاربری‌هایی که در طولانی مدت موجب افزایش شوری خاک می‌گردند.
- کاهش آلودگی تولیدات و مصرف‌کنندگان.
- افزایش امکان بهره‌برداری صحیح از منابع آب برای کاهش آلودگی.

امروزه بخش‌های وسیع از اراضی دنیا در معرض اثرات سوء ماندآبی شدن و شوری بیش از حد قرار دارند. با توجه به اینکه وسعت مناطق آسیب دیده دقیقاً مشخص نیست، تخمین زده می‌شود که تقریباً ۲۵٪ اراضی تحت آبیاری بر اثر شوری صدمه دیده‌اند. عده‌ای بر این معتقدند که احتمالاً تا ۵۰٪ اراضی تحت کشت آبیاری دنیا در معرض تأثیرات شوری قرار دارند.

به طور کلی کشورهایی که دچار مشکلات قابل ملاحظه‌ای به لحاظ شوری خاک هستند شامل: استرالیا، چین، مصر، هندوستان، عراق، مکزیک، پاکستان، جمهوری‌های شوروی سابق، سوریه، ترکیه و ایالات متحده آمریکا می‌باشند.

عمده‌ترین مناطق شور دنیا معمولاً در اراضی خشک و نیمه خشک و نسبتاً پست با زهکشی مطلوب قرار دارند. این امر نتیجه جا به جائی مقادیر زیادی نمک توسط آبیاری و آبشوئی بیش از اندازه و به دنبال آن انباشتگی نمک در مناطقی با زهکشی محدود است.

جدول (٦-١) اراضی تحت آبیاری متأثر از شوری پنج کشور عمده را در سال ۱۹۸۰ نشان می‌دهد. چنین اراضی معمولاً در مناطق پستی قرار دارند که سطح ایستایی آب در سطح خاک یا نزدیک آن بوده و نمک‌ها طی فرآیند تبخیر به سطح خاک صعود کرده اند.

زهکشی آب از مناطق مرتفع دره‌ها و حوزه‌های آبریز می‌تواند موجب افزایش سطح ایستابی در اراضی پست پایین دست شود، به نحوی که ممکن است تا نزدیکی ۲ متری سطح زمین برسد. نفوذپذیری خاک در اینگونه حوزه‌ها به واسطه بالا بودن درصد رس آبرفتی کم می‌باشد و به همین دلیل مانع حرکت آب به سمت پایین شده و منجر به زهکشی نامطلوب می‌گردد. هرچند خاک‌های شور به‌صورت گسترده‌ای تحت شرایط طبیعی به وجود می‌آیند، ولی مشکل شوری در کشاورزی زمانی بیشترین اهمیت را می‌یابد که خاک‌های زراعی مرغوب و حاصلخیز در نتیجه آبیاری شور می‌شوند. پروژه‌های بزرگ آبیاری که در برگیرنده عملیاتی از قبیل انحراف آب رودخانه‌ها، احداث سدهای بزرگ و آبیاری مناطق وسیع هستند، باعث تغییرات زیادی در موازنه نمک و آب در کل سیستم‌های هیدرولوژیکی می‌شوند.

چنانکه آب نفوذ یافته به داخل خاک بیش از نیاز محصولات کشاورزی باشد از عمق ریشه گذشته و نمک‌هایی را که در خاک و لایه‌های زیرین قرار دارند در خود حل می‌نماید و تجمع این آب در پایین دست موجب ماندآبی شدن اراضی می‌شود. هنگامی که چنین پدیده‌ای به وقوع می‌پیوندد نمک‌های محلول موجود در زیر خاک به حرکت در آمده و به اعماق پایین منتقل و در آنجا تجمع می‌یابند و بر اثر مرور زمان آب‌های زیرزمینی نزدیک به سطح زمین را شور می‌کنند.

مشکلات ماندابی شدن و شوری که در اکثر اراضی تحت کشت آبیاری شایع می‌باشد به دلائل ذیل پدید می‌آیند:

استفاده بیش از اندازه از زه‌آب برای آبیاری (که ناشی از سیستم‌های آبیاری با راندمان پایین، سیستم‌های توزیع نامطلوب آب و روش‌های مدیریت زراعی غیر اصولی)، مدیریت زهکشی نامناسب و ناکافی و تخلیه زه‌آب به داخل منابع آب مطلوب که در جای دیگری برای تولید محصولات به کار می‌رود. جای تعجب نیست وقتی که

متوجه می‌شویم تنها از ۶۰٪ آبی که برای آبیاری به کار می‌رود، به مصرف تبخیر گیاه می‌رسد. باید توجه داشت که این مشکلات حتی در مناطقی که آب‌های لب شور برای آبیاری مورد استفاده قرار می‌گیرد نیز رخ داده است. لذا ممکن است چنین استدلال شود که با به کارگیری از آب‌های شور برای آبیاری صرفاً بر این مشکلات اضافه خواهد شد، زیرا با استفاده از چنین آب‌هایی به مقدار نمک خاک افزوده شده و به منظور کنترل شوری در منطقه ریشه به آبشوئی بیشتری نیاز خواهد بود، ولی اصولاً چنین نیازی وجود نخواهد داشت. باید توجه داشت که شور شدن آب و خاک به دلیل آبیاری تا حدی اجتناب‌ناپذیر است. آب‌های آبیاری متعارف در هر متر مکعب بین۰/۱ تا ۲ کیلوگرم نمک دارد و معمولاً این گونه آب‌ها سالیانه به میزان ۵۰۰۰ تا ۱۵۰۰۰ متر مکعب در هکتار به زمین داده می‌شوند. لذا ممکن است هر ساله ۰/۵ تا ۳۰ تن نمک در هر هکتار به خاک‌های اراضی تحت آبیاری اضافه شود. وقتی که آب خالصی از طریق فرآیندهای تبخیر و تعرق به جو باز می‌گردد نمک موجود در آب آبیاری در خاک باقی می‌ماند. لذا مقدار آب بیشتری از میزان تبخیر و تعرق گیاه باید به زمین داد تا آبشوئی انجام یافته و از تجمع بیش از حد نمک در منطقه توسعه ریشه جلوگیری شود. در اکثر پروژه‌های آبیاری، کانال‌های انتقال آب دچار نشت بوده و اینگونه آب‌ها و آب‌های زهکشی به لایه‌های زیرین نفوذ کرده و به طرف آب‌ها و اراضی پست‌تر جریان یافته و در آنجا مشکل ماندابی شدن و تجمع نمک را ایجاد می‌نمایند. در چنین مناطقی خاک‌های شور به واسطه فرآیند تبخیر تشکیل می‌شوند. آب‌های سطحی و زیرزمینی با دریافت اینگونه زه‌آب‌ها و آب‌های نشتی دچار افزایش غلظت نمک می‌شوند. بنابراین مشکلات ماندابی شدن و شوری ثانویه به دلیل زهکشی ناکافی و غیر کارآمد به وقوع می‌پیوندد. منشاء اصلی تولید زه‌آب در یک پروژه آبیاری عبارت است از آب کنار گذر، نشت آب از کانال، تلفات عمقی و آب سطحی. نشت آب از کانال تا حد زیادی سطح ایستابی آب را بالا برده، شوری آب سفره زیرزمینی و رشد گیاهان آبزی را افزایش داده و معمولاً به مقدار زهکشی (و شوری آب) مورد نیاز از مناطق تحت آبیاری افزوده می‌شود. طبق برآورد انجام شده، ۵۷٪ مجموع آبی که در دنیا برای آبیاری به کار برده می‌شود از طریق کانال‌های توزیع

آب به هدر می‌رود. چنانکه آب از لایه‌های زیرین انباشته از نمک بگذرد و یا جایگزین آب سفره‌های زیرزمینی شور گردد، مقدار نمک گرفته شده از چنین منابعی بسیار زیاد خواهد بود.

جدول ٦-١- اراضی تحت آبیاری متأثر از شوری پنج کشور عمده در دهه ۱۹۸۰

کشور	مساحت صدمه دیده (شور شده) (میلیون هکتار)	سهم اراضی تحت آبیاری آسیب دیده (٪)
هندوستان	۲۰	۳٦
چین	۷	۱۵
ایالات متحده آمریکا	٥/۲	۲۷
پاکستان	۳/۲	۲۰
شوروی سابق	۲/٥	۱۲
مقدار کل	۳۷/۹	۲٤
در سطح جهانی	٦۰/۲	۲٤

مشکلات عمده تخریب خاک

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که بخش عمده‌ای از مشکلات مربوط به تخریب خاک (شوری و ماندابی شدن) در کشاورزی تحت آبیاری که در سراسر جهان روی می‌دهد به دلیل راندمان پایین سیستم توزیع کاربرد آب آبیاری و در نتیجهٔ جا به جائی و تجمع آب و نمک بیش از اندازه و در ارتباط با شرایط هیدرولوژیکی و بازگشت زه‌آب‌های شور به منابع آب شیرین می‌باشد. استفاده از آب‌های شور استاندارد همراه با اجرای مدیریت صحیح آن قاعدتاً نبایستی منجر به شوری خاک‌ها یا ماندابی شدن آنها شود. در اصل جمع‌آوری و استفاده مجدد از زه‌آب‌هایی که به پایین منطقه توسعه ریشه نفوذ می‌کنند، فرآیندهای تخریب خاک را که در ارتباط با نفوذ عمقی بیش از حد، جابه جائی نمک، ماندابی شدن و شوری ثانویه می‌باشد

کاهش می‌دهد. همچنین می‌تواند موجب کاهش مشکلات آلودگی آب در ارتباط با تخلیه زه‌آب‌ها به منابع آب با کیفیت مطلوب شود.

خصوصیات خاک و اثرات شوری

مطالعات جامع و مداوم خاک در مدیریت مناطق آبیاری ضروری است. فعالیت‌های گسترده به منظور افزایش توان تولید می‌تواند در کاهش حاصلخیزی خاک اثر بگذارد. شوری خاک احتمالاً مهمترین مسئله در کشت تک محصولی بدون دوره آیش می‌باشد که سریعاً حاصلخیزی خاک را تخریب می‌کند.

همه ساله حدود۵ تا ۷ میلیون هکتار از اراضی (حدود۰/۵ درصد) به دلیل فرسایش خاک، از حیز انتفاع خارج می‌شوند (۱۹۹۲، FAO). شور شدن یکی از مشکلات اصلی اراضی آبی در رابطه با کاهش تولیدات کشاورزی به حساب می‌آید و یکی از اثرات منفی زیست محیطی بارز آبیاری است. شوری به طور جدی انتخاب محصول را محدود می‌کند، بر جوانه زدن و تولید گیاه تأثیر دارد و وضعیت خاک را برای انواع فعالیت‌ها دشوار می‌کند.

مدیریت صحیح می‌تواند میزان شوری را کاهش دهد و اثرات آن بر روی گیاه را به حداقل برساند شکل شماره (۲-۳) حساسیت انواع گیاهان مهم را نسبت به شوری خاک نشان می‌دهد. استفاده از آب با کیفیت پایین در خاک‌های سنگین و رسی ممکن است دارای خطرهائی باشد در حالی که همین آب در خاک‌های شنی و یا نفوذ پذیر می‌تواند مناسب و بدون خطرهای بعدی باشد.

شوری خاک

چهار دلیل مهم برای افزایش شوری خاک در طرح‌های آبیاری وجود دارد.

۱- نمک‌های موجود در آب آبیاری (آب با کیفیت پایین) در پروفیل خاک ترسیب می‌شوند که علت آن جذب سریع‌تر آب توسط هوا و گیاه می‌باشد. غلظت نمک در جریان ورودی ممکن است برحسب زمان به علت فعالیت‌های زهکشی در بالا دست و یا اثرات بهره‌برداری مجدد از آب زهکشی زیاد شود.

۲- محلول‌های اضافه شده به خاک به شکل کودهای طبیعی و یا مصنوعی و همچنین آفت‌کش‌ها کاملاً توسط گیاه مصرف نمی‌شوند.
۳- نمک‌هایی که به طور طبیعی در خاک ایجاد می‌شوند، به صورت محلول حرکت می‌کنند، یا به شکل محلول در آب شور زیرزمینی وجود دارند. این مسئله غالباً در بیابان‌ها یا مناطق خشک که دفع املاح (آبشوئی خاک) به طور طبیعی انجام نمی‌شود حاد می‌باشد. در مناطقی که سطح آب زیرزمینی بالا و شور است، آب به علت عمل موئینه‌ای بالا می‌رود و تبخیر می‌شود و نمک را در سطح و لایه فوقانی خاک بر جای می‌گذارد.
٤- تغییر از کشت دیم به آبی برای یک محصول، یا انتقال از تک آبیاری به دو آبیاری باعث ایجاد پل رطوبت یا شوری، بین آب زیرزمینی عمیق شور و لایه سطحی خاک عاری از املاح می‌شود.

مشخصات خاک

تجمع املاح به تخریب ساختمان خاک، که در آبیاری و تولید محصول ضروری است منتهی می‌گردد. این اثرات در خاک‌های رسی بیش از حد است زیرا وجود سدیم باعث تخریب ساختمان خاک می‌شود این پدیده شرایط رشد گیاه را ضعیف کرده، انجام عملیات خاک‌ورزی را با دشواری روبرو می‌کند و از بهسازی خاک از طریق آبشوئی با استفاده از روش‌های استاندارد جلوگیری می‌کند. از وجود گچ در آب آبیاری یا مخلوط کردن آن در خاک قبل از آبیاری، عملاً برای کاهش سدیم در خاک‌های قلیائی استفاده می‌شود. در بعضی از مناطق به ویژه در باتلاق‌های ساحلی گرمسیری، خاک‌های اسیدی سولفاته از جمله مشکلات هستند. مخاطرات پتانسیل اسیدی شدن خاک باید مد نظر باشد. تبدیل کشت آبی، یا متراکم نمودن کشت آبی موجود نیاز به وجود مواد مغذی زیاد در پروفیل خاک دارد. اگر به این مسئله توجه کافی نشود، راندمان آبیاری کم خواهد بود. تلفات بیش از حد آب در پروفیل خاک وجود خواهد داشت و کاتیون‌های مفید از ذرات خاک خارج می‌شوند. پایین بودن میزان pH همچنین ممکن است باعث افزایش میزان موجود و یا آزاد شدن فلزات

سنگین در خاک شود. رفع مشکلات اسیدیته خاک می‌تواند بسیار پرهزینه باشد. به همین دلیل نیز مواد آلی خاک ممکن است کاهش یابد. نهایتاً چنین کاهش‌هایی منجر به تخریب خاک شده و از حاصلخیزی آن خواهد کاست.

آب زیرزمینی

افزایش شوری آب زیرزمینی غالباً با ماندابی شدن اراضی همراه است. ایجاد شبکه زهکشی مناسب همراه با نگهداری آن، به خوبی از چنین اثراتی جلوگیری می‌کند. آب زیرزمینی شور مناطق ساحلی می‌تواند نسبت به سایر مناطق دیگر بحرانی‌تر باشد.

زه‌آب شور

در صورتی که زهکشی طبیعی وجود نداشته باشد ایجاد شبکه زهکشی ضروری می‌باشد. اراضی با توپوگرافی مسطح یا دارای سطح آب با گرادیان هیدرولیکی کم، و همچنین خاک‌های با نفوذپذیری کم تحت تأثیر شوری قرار دارند، از افزایش غلظت املاح محلول (نمک) ناشی از آب آبیاری در زه‌آب سیستم زهکشی نمی‌توان جلوگیری کرد. عموماً غلظت نمک در آب زهکشی بین ۲ تا ۱۰ برابر آب آبیاری است، میزان زه‌آب را می‌توان از طریق مدیریت آبیاری کاهش داد اگرچه این اقدام منجر به کیفیت بدتر آب در زهکشی‌ها می‌گردد. (کاهش نمک ورودی یکی از راه‌های اصلاح کیفیت آب در زهکشی است). تخلیه صحیح نمک‌ها از راه‌های اصلاح کیفیت آب در زهکشی است. تخلیه صحیح نمک‌ها از اولویت‌های مهم به شمار می‌آید. این عمل ممکن است به دو صورت انجام شود:

الف- انتقال زه‌آب‌ها به دریا

ب- انتقال زه‌آب‌ها به مناطقی از پیش طراحی شده نظیر حوضچه‌های تبخیری

نفوذ شوری

تعیین مرز بین آب شیرین و شور در مناطق ساحلی تابع توان هیدرولیکی آب شیرین می‌باشد. سطح ایستابی پایین باعث حرکت مرز آب شیرین به داخل می‌گردد زیرا فشار موجود کمتر می‌شود. افراد زیادی ممکن است تحت تأثیر کاهش کیفیت آب آشامیدنی از طریق جایگزینی آب شور با آب شیرین قرار گیرند. گذشته از آن ممکن است مردم مجبور به استفاده از آبی باشند که از نظر بهداشتی دارای مخاطراتی باشد.

حیات گیاهان در منطقه نیز ممکن است تغییر یابد چون فقط گیاهان مقاوم به شوری دوام دارند. اثرات زیست محیطی در منطقه غیر قابل برگشت هستند زیرا برگرداندن حرکت آب شور اساساً مشکل و پرهزینه است. تغییرات رژیم جریان می‌تواند اثرات شوری در مصب رودخانه را به همراه داشته باشد. این شوری اثر مهمی بر اکولوژی منطقه دارد.

فرسایش و رسوبگذاری

فرسایش در بالا دست رودخانه می‌تواند منجر به تشکیل مواد رسوبی حاصل خیز در مصب رودخانه گردد. در هر صورت، این دستاورد به قیمت از بین رفتن اراضی حاصلخیز بالا دست تمام می‌شود. اثرات منفی مهم فرسایش و جا به جائی ذرات خاک، رسوب در مخازن و پشت بندها و تأسیسات پایین دست مانند تأسیسات آبگیری و ایستگاه‌های پمپاژ آبیاری می‌باشد. میزان فرسایش خاک با کاهش پوشش گیاهی افزایش می‌یابد و در اراضی کشاورزی ۱۰ تا ۱۰۰ برابر نسبت به سایر اراضی شدید می‌گردد.

۶-۴- بیماری‌های ناشی از آب

آبیاری محیطی را ایجاد می‌کند که برای پرورش ناقلان بیماری‌های مسری آب مناسب است. ناقلان بیماری موجوداتی هستند که عامل بیماریزا را از یک شخص یا حیوان به شخص یا حیوان دیگر منتقل کرده و نیز در بدن خود محیط مناسبی برای عامل بیماریزا پدید می آورند تا بتوانند بخشی از چرخه زندگی خود را تکمیل نمایند

شناخت ارتباط متقابل سلامتی و توسعه آبیاری الزامی می‌باشد که بایستی به آن توجه خاصی داشت. بهبود تغذیه، تأمین یک منبع آب کافی و مطلوب برای مصارف داخلی، ایجاد تأسیسات اقتصادی در روستا و تسهیلات بهداشتی و تأمین مسکن از جمله مواردی هستند که اکثر پروژه‌های آبیاری برای جوامع روستائی به ارمغان آورده و منحصر به بهبود سطح بهداشت منطقه می‌شود. چنانچه توسعه آبیاری به شکل برنامه‌ریزی شده انجام گیرد و اقدامات مدیریتی محیط زیست با طرح و مدیریت پروژه‌های آبیاری تلفیق شوند، می‌توان بسیاری از خطرات مربوط به سلامتی که در ارتباط با توسعه آبیاری است را از میان برد. در این قسمت به دو بیماری واگیردار مهم یعنی مالاریا (Malaria) و شیستوزومیاز (Schistosomiasis) که هر دوی آنها از طریق آب آلوده انتقال می‌یابد و ارتباط مستقیم با کیفیت آب دارند، پرداخته شده است.

از این دو بیماری، مالاریا مهمترین مورد است که در سطح جهان میلیون‌ها نفر به آن مبتلا می‌باشند. طبق برآوردهای انجام شده ۲۴۰ میلیون نفر در هر زمان دارای انگل بیماری بوده و سالیانه ۱۰۰ میلیون مورد بیماری‌های بالینی ناشی از مالاریا وجود دارد.

ناقل بیماری مالاریا پشه‌ای از نوع آنوفل (Anopheles) می‌باشد که به طورکلی درمرحله نمو، نوزاد حشره به آب‌های شیرین زلال و ساکن یا با جریان کم نیاز دارد. برخی از گونه‌های آنان استثنائاً آب‌های شور یا آلوده را برای تجمع خود ترجیح می‌دهند. بیماری شیستوزومیاز (بیلارزیاز–Bilhorziasis) بیماری بومی ۷۶ کشور جهان است که در آنها ۲۰۰ میلیون نفر به این انگل مبتلا هستند. ممکن است شیستوزومیاز بیش از مالاریا که از لحاظ زمانی و مکانی گسترش نامنظمی دارد، مستقیماً با طرح‌های آبیاری و دیگر پروژه‌های توسعه منابع آب در ارتباط باشد. ممکن است پارامترهای فیزیکی، شیمیائی و بیولوژیکی آب دلیل مهمی برای تجمع پشه و غیره باشد. پارامترهای فیزیکی می‌تواند شامل دما، تیرگی، ویسکوزیته، قابلیت هدایت الکتریکی، کشش سطحی و سرعت جریان آب که ممکن است یک کیفیت فیزیکی نباشد، مد نظر می‌باشد. پارامترهای شیمیائی عبارتند از: غلظت یون‌های مثبت و منفی

گوناگون غلظت کلی نمک، pH و غلظت ترکیبات مصنوعی، همچنین پارامترهای بیولوژیکی شامل: مواد آلی، جلبک‌ها، باکتری‌ها یا قارچ‌ها، علف‌های آبزی می‌باشند. هر کدام از عوامل کیفیت آب نیز ممکن است ازدیاد ناقل را با ایجاد انواع خاصی از گیاهان آبزی تحت تأثیر قرار دهد. پشه‌های آنوفل به طور کلی در آب‌های نسبتاً زلال و غنی از اکسیژن تجمع می‌یابند. کدر شدن آب به دلیل آلودگی مواد آلی منجر به عدم نفوذ نور شده و ممکن است در عمق خاصی فرآیندهای بی‌هوازی غالب شوند. این عوامل همراه با غنی بودن آب از مواد غذائی (و رشد زیاد گیاهان) فشار اکسیژن را به میزان قابل ملاحظه‌ای پایین آورده و آب را برای رشد آنوفل نامناسب می‌کند. برخی موارد استثنائی از قبیل A. Pharoensis, A.Gambiae, A.Barbirostris, A.Vagus, A.Kochi همگی پشه‌های شالیزار می‌باشند که در آب‌های کدر نیز پرورش میابند.

پارامترهای شیمیائی مهم از قبیل ترکیب یونی و غلظت کلی نمک در منابع آبی برای پشه‌های ناقل مالاریا مناسب نیستند. اکثر آنوفل‌ها آب شیرین را ترجیح می‌دهند. اما برخی گونه‌ها به طور استسنائی آب‌های شور را ترجیح می‌دهند از قبیل Anopheles Sundaicus (در جنوب و جنوب شرقی آسیا) و A.Aquasalis (در آمریکای جنوبی).

برخی موارد مشهور و همه‌گیر مالاریا در ارتباط با تغییرات ناگهانی غلظت نمک در آب به وجود می‌آیند. جزر و مد و تغییر موسمی حجم جریان رودخانه منجر به نوسان غلظت نمک در مرداب‌های ساحلی می‌شود. این امر باعث شیوع فصلی مالاریا می‌گردد که ممکن است به دلیل ذیل باشد:

۱- با بالا رفتن غلظت نمک شرایط مناسبی برای پشه‌های شورپسند ایجاد می‌شود.
۲- در صورت پایین بودن غلظت نمک موقتاً برای یکی از گونه‌های شیرین زیست (همانند Anopheles Albimanus در سواحل السالوادور) شرایط مناسبی ایجاد می‌شود.

طبق گزارش فائو درسال ۱۹۸۵ کیفیت آب موجب تشدید مسئله ناقلان شده و یا شرایط فیزیکی که ایجاد می‌کند باعث بروز چنین مسئله‌ای می‌شود. شرایطی از کیفیت آب که بر اندازه و ترکیب گونه‌های ناقل بیماری و حشرات موذی مؤثر است شامل موارد زیر می‌باشد:

۱- ایجاد شرایطی در خاک که موجب افزایش سطوح آب و یا مدت ماندگاری آن در منطقه شود.
۲- لزوم به روش‌های آبیاری که منجر به گسترده شدن وسعت و تداوم آب شود.
۳- تغییر و تبدیل موجودات آبزی منطقه.
٤- تأثیر مستقیم بر ناقل.

در اکثر طرح‌های آبیاری، فقدان یا کمبود زهکشی‌های سطحی دلیل اصلی تکثیر ناقلان شناخته شده است. کانال‌های زهکشی که دارای ساختار نامطلوب بوده و یا خوب نگهداری نشده‌اند شرایط مناسبی را برای پرورش حشرات و حلزون‌های آبزی پدید می‌آورند.

اتخاذ روش‌های مدیریت آب آبیاری مطلوب و اقدامات مدیریت زیست محیطی مناسب همچون انتقال آب با راندمان بالا، برنامه‌ریزی صحیح آبیاری، بهبود روش‌های آبیاری در مزارع و زهکش‌های مناسب میزان آب سطحی را به حداقل می‌رساند، و لذا فرصت اندکی برای پرورش ناقلان فراهم خواهد نمود. در نتیجه می‌توان گفت که استفاده صحیح از آب شور به منظور تولید محصول احتمال بروز بیماری‌های مسری آب را کاهش خواهد داد.

۶-۵- اثرات مخلوط نمودن آب بر قابل استفاده بودن و آلودگی

هدف نهائی از حفظ کیفیت آب امکان بهره‌برداری بهینه از منابع آب موجود است. هنگام در نظر گرفتن آب شور به منظور آبیاری و انتخاب مدیریت زهکشی مناسب برای حفظ کیفیت آب، این نکته مهم را باید مد نظر داشت که حجم کل یک منبع آب شور را نمی‌توان به صورت مفیدی برای آبیاری و تولید محصول مورد استفاده قرار داد. با بالا رفتن شوری، پیش از آنکه غلظت آب محدود کننده شود، مقدار کمتری از

آن را می‌توان مصرف نمود. گیاهان باید به آبی دسترسی داشته باشند که کیفیت آن بدون بالا رفتن غلظت نمک‌ها برای رشد کافی قابل مصرف باشد.

اصولاً در فرآیند تعرق، گیاهان تقریباً آب خالص را از محلول نمک موجود در عمق ریشه جدا کرده و بدین ترتیب نمک‌های محلول آب باقیمانده غلیظ می‌شوند. این آب نهایتاً تبدیل به زه‌آب می‌شود. هنگامی که غلظت نمک موجود در آب خاک از حدی که در شرایط ویژه اقلیمی و مدیریت مختص آن است فراتر رود، گیاه رشد مناسبی نخواهد داشت. لذا بدیهی است که اگر آبی دارای نمک باشد گیاه تمامی آب موجود را به مصرف نخواهد رساند. عمل مخلوط کردن یا رقیق کردن آب‌های خیلی شور با منابع آب مناسب را فقط زمانی باید اجرا کرد که نحوه تأثیر آن برحجم آب قابل مصرف در منابع ترکیبی (مخلوط شده) و مجزا (آب مناسب) کاملاً مورد بررسی قرار گرفته باشد.

محاسبه شوری آب خاک که در عمق ریشه پدید می‌آید با دانستن شوری آب آبیاری (EC_{iw}) و نسبت آبشوئی(LF) و با استفاده از مدل Watsuit عملی است. نیاز آبشوئی(Lr) معادل مقداری از LF می‌باشد که آن مقدار میانگین شوری در عمق ریشه را از سطح مقاومت آستانه گیاه یا بیشتر نگهدارد (یعنی حداکثر سطحی که گیاه می‌تواند بدون افت محصول تحمل کند). چنانچه افت محصول تا حدی قابل پذیرش باشد می‌توان از مقادیر بیشتری استفاده نمود. بازده نسبی محصول با استفاده از موارد زیر محاسبه می‌شود: میانگین پیش‌بینی شده شوری آب خاک، آگاهی از مقاومت گیاهان در برابر شوری و با فرض اینکه گیاهان به میانگین شوری موجود در عمق ریشه واکنش نشان می‌دهند. درصد آب آبیاری که در تبخیر و تعرق بدون ایجاد افت دربازه مورد مصرف قرار گرفته با نسبت V_{et} / V_{im} تعیین می‌گردد که بااستفاده از رابطه زیر از L_r محاسبه می‌شود.

$$V_{et} / V_{im} = (1 - L_r)$$

۶-۶- اثرات عمده زیست محیطی پروژه‌های آبیاری و زهکشی

در بررسی اثرات زیست محیطی طرح‌های آبیاری و زهکشی، دو موضوع باید مد نظر قرار گیرد که عبارتند از:

- اثرات پروژه برروی محیط زیست.
- اثرات عوامل خارجی برروی پروژه.

در بخش‌های تفصیلی زیر ملاحظه می‌گردد که بسیاری از اثرات تشریح شده، در شرایط اراضی جدید تحت آبیاری بی‌رویه می‌باشد. اما به هر حال مواردی نظیر بهسازی و تغییراتی که به لحاظ دگرگونی ناشی از بهره‌برداری تأسیسات زیر بنائی اعمال می‌گردد، نیز دارای اثرات زیست محیطی می‌باشد که در مراحل اولیه ممکن است مورد انتظار نباشد. اجرای کشاورزی بسیار فشرده و پیشرفته به لحاظ افزایش مصرف انواع کود و سم می‌تواند به آلودگی زیرزمینی منجر گردد. بهبود راندمان آبیاری، ممکن است به میزان قابل ملاحظه‌ای موجب کاهش آب برگشتی گردد که اغلب در پایین دست توسط شبکه‌های آبیاری دیگر و یا حیات وحش مورد استفاده قرار می‌گیرد. توسعه مناطق بالادست می‌تواند موجب کاهش کمیت و کیفیت شبکه آبیاری گردد.

روش‌های مختلف اثراث متفاوتی بر روی محیط دارند و نباید اینطور تصور شود که روش‌های پیشرفته آبیاری اثرات محدودتری دارند، زیرا این روش‌ها ممکن است به صورت قابل ملاحظه‌ای موجب افزایش مصرف انرژی گردیده و منجر به مسائل اجتماعی ناشی از کاهش نیروی انسانی شاغل در بخش کشاورزی گردد. همچنین در مرحله اجرا اثرات قابل توجهی بروز می‌نماید. به عنوان مثال، در حین دوره ساخت و ساز به علت زندگی کارگران مهاجر در مکان‌های موقت و غیر بهداشتی، خطرهای اجتماعی و بهداشتی زیادی ممکن است به وجود آید. از طرف دیگر چند سال پس از راه اندازی، ممکن است اثرات تجمعی فشارهای زیست محیطی مختلفی بر پایداری پروژه وارد نمایند، چنین مسائلی باید در EIA پیش‌بینی و راه‌های کاهش آنها ارائه گردد.

جدول ٦-٢- مسائل عمده زیست محیطی ناشی از سیستم‌های آبیاری و زهکشی ناپایدار و تمهیدات مناسب برای بهبود آنها

مسائل	روش‌های بهبود
تخریب اراضی تحت آبیاری: شوری قلیائیت باتلاقی شدن اسیدی شدن خاک	· توسعه و بهبود بهره‌برداری از سیستم آبیاری و زهکشی به منظور تأمین تقاضا از نظر میزان و زمان · فراهم نمودن سیستم زهکشی شامل هدایت و تخلیه آب در حوضچه‌های تبخیری یا دریا، در مواردی که کیفیت آب رودخانه به شدت تحت تأثیر جریان زهکشی آسیب میبیند. · نگهداری مجاری به صورتی که از تراوش، رسوب‌گذاری و رشد علفهای هرز جلوگیری شود. · تأمین آب برای شستشوی اراضی به عنوان یک عملیات خاص. · برقراری یا اصلاح ساختار مدیریت آبیاری به منظور اطمینان از کسب درآمد کافی برای نگهداری سیستم آبیاری و زهکشی. · تجزیه خاک و پایش تغییرات حاصله به صورتی که امکان شناخت مسائل بالقوه و نحوه مدیریت آنهافراهم گردد.
زوال شرایط اجتماعی-اقتصادی: · افزایش و گسترش امراض مرتبط با آب · افزایش عدم برابری · تضعیف ساختار جوامع	· بهبود مدیریت آبیاری و زهکشی به منظور جلوگیری از گسترش امراض. · آموزش عوامل و دلایل ایجاد امراض. · توسعه تسهیلات و امکانات بهداشتی. · فراهم آوردن پول و وقت کافی برای مشارکت وسیع مردم · به منظور اطمینان استفاده از بهینه سازی برنامه ها، ملحوظ شدن تمامی جوامع مورد نظر، قرار گرفتن تمامی ادارات محلی در موقعیت خود برای تأمین آبیاری پایدار، به خصوص در رابطه با حقوق آب و زمین. · لحاظ نمودن خدمات مالی و برنامه‌های ترویج کشاورزی در تلفیق با تغییرات پیشنهادی در آبیاری. · اطمینان خاطر از اینکه توسعه کشاورزی پیشرفته، موجب جلوگیری از فعالیت اقتصادی یا معیشتی نظیر تولید سبزیجات خانواده، تولید علوفه یا درخت برای تهیه هیزم، نمی‌گردد. · در صورتی که آبیاری موجب تحلیل وضعیت معیشتی کنونی گردد، تأمین حمایت‌های کوتاه مدت یا ایجاد مهارت‌ها ضروری است.

ادامه جدول ٦-٢-

مسائل	روش‌های بهبود
کیفیت پایین آب: ۰ کاهش کیفیت آب آبیاری ۰ ایجاد مشکلات کیفیت آب برای مصرف کنندگان پایین دست ناشی از کیفیت آب برگشتی آبیاری	۰ تعریف و اجبار برای تأمین سطوح مشخصی از کیفیت آب برگشتی (شامل برنامه‌های پایش) ۰ کنترل توسعه صنایع ۰ تعیین اراضی مشخص برای تخلیه آب‌های شور، ساخت مجرای جداگانه برای تخلیه آب‌های شور. ۰ آموزش خطرات ناشی از آلودگی‌های فاضلاب و سموم کشاورزی. ۰ رفتار سنجی (پایش) کیفیت آب آبیاری
تخریب شرایط اکولوژیکی(بوم زیستی): ۰ کاهش تنوع زیستی در محدوده پروژه ۰ آسیب به بوم زیست پایین دست به لحاظ کاهش کمیت و کیفیت آن	۰ تعریف نیازهای اکولوژیکی (بوم سنتی) ۰ بهره‌برداری از سدها به صورتی که نیازهای پایین دست تأمین گردد و همچنین تشویق در راستای توسعه حیات وحش در اطراف مخازن. ۰ تخصیص اراضی (به صورت قانونی و تحت حمایت ارگان‌های حفاظتی) ۰ تخلیه آب زهکشی و مجاری عبور رودخانه‌ها به عنوان سیلاب دشت‌ها، تالاب‌ها و آبخیزها
تخلیه (تهی سازی) آب زیرزمینی : ۰ خشک شدن آب چاه‌های شرب و آبیاری ۰ نفوذ آب شور به سفره در سواحل ۰ کاهش جریان پایه/تالاب‌ها	۰ تعریف و اجرای قوانین در رابطه با برداشت آب زیرزمینی ۰ رفتارسنجی سطح آب زیرزمینی ۰ تعدیل آب بهای برداشت از منابع آب زیرزمینی

۷- مدیریت بهره‌برداری بی‌خطر از آب شور

۷-۱- کلیات

گرچه گزینه‌های گوناگونی در کشاورزی با آب شور ممکن است وجود داشته باشد که آبیار در انتخاب آنها برای رسیدن به هدف نهائی که برداشت محصول رضایت‌بخش است، مختار باشد، لیکن از نظر اهمیت و اولویت در انتخاب هر یک از آنها، بعضی نظیر وجود و عملکرد یک سیستم زهکشی کامل در اراضی آبی، از ارجحیت ممتازی برخوردار می‌باشد. بنابراین انتخاب و کارائی یک سیستم آبیاری - زهکشی کارآمد در همه حال می‌تواند از گزینه‌های اولیه در طرح‌های کشاورزی آبی باشد. البته در راستای کارکرد اصولی و منطقی هر طرح آبیاری با آب شور و در همه حال، هدفی که در اصل مد نظر مهندسین آبیاری است، برخورداری از یک مدیریت معقول در مصرف بهینه از این گروه آب‌هاست که براساس آن رعایت اولیه موازنه بار[1] املاح در محیط ریشه سرلوحه برنامه‌ها باشد. با توجه به این اصول همراه با استفاده از آب‌های شور و زه‌آب‌های برگشتی کشاورزی که با الگوی کشت مناسب با کیفیت آب توأم باشد، می‌توان از تخریب منابع خاک و آب نیز جلوگیری به عمل آورد.

تحت چنین سیستمی است که ما اکنون شاهد عرصه‌های وسیع و حاصلخیزی در برخی از مناطق واقع در سرزمین‌های خشک هستیم که تحت سیطره اقلیمی نامساعد و اکوسیستم‌های شکننده، طراحان آبیاری توانسته‌اند به طور چشمگیری موجب افزایش عملکرد محصولات را در سطح کلان گردند. این موفقیت‌ها فقط در پرتو مدیریت کارآمدی است که با توجه به کلیه جوانب مربوط به تلفیق متناسب آب - خاک- گیاه براساس امکانات بالقوه این منابع و با در نظر گرفتن شرائط اقلیمی منطقه مورد عمل و توجه به سایر عوامل، نظیر نیروی انسانی مجرب، فناوری و استفاده از ماشین‌آلات کشاورزی خاص این سرزمین‌ها، و دیگر متغیرها، ضمن حفظ کشاورزی پایدار، به اهداف طراحی شده برسند. در غیر این صورت هدف واقعی

---

1 - Salt balance

میسر نخواهد شد. در واقع، حاصل طرح آبیاری نامناسب، هدر رفت تمام منابع و وسائل مذکور خواهد بود. همچنانکه شاهد چنین طرح‌هائی در داخل و خارج از کشور بوده‌ایم. یعنی انجام طرح‌های ناموفق، در نهایت به تخریب منابع آب و خاک به صورت آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی، کاهش قدرت باردهی[1] و حاصلخیزی خاک[2] از طریق شوری ثانویه[3] و سرانجام عقیم شدن اراضی و رها کردن زمین‌های کشاورزی آبی منتهی خواهد شد.

در این رابطه، رودز (۱۹۹۸) که در زمینه بهره‌برداری از آب شور در کشاورزی پایدار شهرت جهانی دارد، اخیراً در همایش جهانی «کارگاه مربوط به بهره‌برداری از آب شور و لب شور به منظور آبیاری» که در بالی در کشور اندونزی تشکیل گردید، در خصوص رعایت اصول مدیریت در طرح‌های آبیاری - زهکشی که از آب‌های شور در کشاورزی استفاده می‌شود، به ویژه در خصوص روش‌های عملی کنترل شوری اراضی فاریاب اشاره می‌کند: «حمایت من از سیستم مدیریت جامع آبیاری و زهکشی فقط به خاطر تسهیل در استفاده از آب‌های شور حاصل از زهکشی برای آبیاری نبوده است، بلکه حفاظت آب و محدود نمودن تخریب منابع آب و خاک در رابطه با زهکشی را نیز در برمی‌گیرد.» ایشان اعتقاد دارد به منظور غلبه برمسائل شوری آب و خاک، راه‌کارهای جدیدی باید در دنیا برای اراضی تحت آبیاری ابداع و اجرا نمود تا بتوان کاربرد بیش از حد آب آبیاری، توسعه شور شدن خاک و ماندابی شدن اراضی را کاهش داده و از کیفیت منابع تأمین آب حفاظت نمود. همچنین باید تلاش نمود و راه کارهای بهتری در جهت کاربرد فنون موجود مناسب با اینگونه نیازها ابداع کرد. کارآمدی آبیاری باید از طریق توسعه و کاربرد راهبردهای مدیریتی، سیستم‌ها و روش‌های اجرایی مناسب و آموزش داده آنها افزایش یابد. استفاده مجدد از آب‌های شور حاصل از زهکشی و آب‌های کم عمق زیرزمینی برای

---

1 -Soil Productivity
2 - Soil Fertility
3 - Secondary Salinization

تولید محصول باید جزء کاملی از برنامه‌های حفاظت آب و خاک و محیط زیست باشد. معیارهای کنترل مؤثر شوری باید در راستای کشت آبی پایدار و جلوگیری از آلودگی منابع آب صورت گیرد. این اقدامات باید با شناخت مراحل طبیعی بهره‌برداری در سیستم‌های وسیع آبیاری و ژئوهیدرولوژی و همچنین در سطح مزرعه و با درک اثرات آنها در درازمدت بر روی کیفیت منابع آب و خاک و همچنین محصول انتخاب گردد. با استفاده از بعضی روش‌های اجرائی می‌توان میزان شوری را در منطقه رشد ریشه گیاهان کنترل نمود، در حالی که روش‌های اجرائی دیگری وجود دارد که به وسیله آنها می‌توان کنترل شوری را در واحدهای بزرگ مدیریتی نظیر پروژه آبیاری، حوضه آبریز رودخانه‌ها و غیره اعمال نمود. با انجام عملیات مضاعف می‌توان سیستم‌های خارج از محدوده اکولوژیکی و زیست محیطی شامل منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی مرتبط را کنترل نمود. اجرای عملیات در سطح مزرعه که شامل راهکارهای زراعی و مهندسی می‌باشد باید توسط کشاورزان مزرعه به مزرعه انجام گیرد. عملیات اجرائی صحیح که معمولاً شامل سازه‌های مهندسی برای کنترل آب (میزان تحویل و دبی) و سیستم‌های جمع‌آوری، استفاده مجدد، تصفیه و یا دفع زه‌آب در مقیاس کلان می‌باشند، معمولاً توسط ارگان‌هایی که ماهیت دولتی دارند به طور مناسبی اجرا می‌گردد (رودز ۱۹۹۸).

نتیجه‌گیری رودز و همکاران (۱۹۹۲)[1] درباره اصول مدیریت و شیوه‌های بکارگیری بدون زیان آب شور در کشاورزی آبی بدینگونه توصیف می‌شود، «معمولاً بهره‌برداری بی‌خطر از آب شور محدود به یک راه منحصر به فرد نیست. ادغام مناسب این روش‌ها بستگی به اوضاع اقتصادی، اجتماعی و نیز خاکشناسی و هیدروژئولوژیکی دارد. لذا در اینجا هیچ عملکرد خاصی برای گزینش مجموعه راه‌های مناسب که در موقعیت‌های گوناگون کاربرد دارند، ارائه نمی‌شوند. بلکه برخی اهداف مهم، اصول خط مشی‌های مدیریت آب، خاک و گیاه که در هنگام استفاده از آب شور در آبیاری باید مدنظر قرار گیرند، به عنوان راهنما مطرح شده‌اند.» این

1 - Rhoads et al.(1992)

نوشتار نیز از رهیافت‌ها و رهنمودهای «رودز» که متضمن اصول و اهداف مهم مدیریت شوری، که در انتخاب روش‌های کنترل هم در سطح مزرعه و هم در مقیاس پروژه‌های آبیاری و سیستم‌های ژئوهیدرولوژیک می‌باشد، بهره گرفته است که در بخش‌های مربوط آمده است. در مقام مقایسه آبیاری با آب مناسب و آب شور باید متوجه بود که نظام اخیر یعنی بهره‌برداری از آب شور، مدیریت بس کارآمدتری را می‌طلبد. زیرا همانطور که قبلاً توضیح داده شد غالب مشکلات و مسائل شوری ناشی از آب آبیاری که به شوری اراضی فاریاب در اکثر طرح‌های آبیاری در نواحی مختلف جهان انجامیده است، حاصل آبیاری با «آب‌های مناسب» یا آب‌های متعارف بوده است. بنابر این کاربرد آب آبیاری شور به تبع مستلزم اتخاذ تدابیر و انتخاب خط مشی‌های مدیریتی بسیار کامل‌تر و جدی‌تری در دو زمینه تولیدات کشاورزی و حفاظت محیط زیست می‌باشد.

۷-۲- مدیریت تولیدات کشاورزی و حفاظت خاک

به طور کلی مدیریت کشاورزی با آب شور جنبه مهمی از بهره‌برداری بی‌خطر از این گروه آب‌ها را شامل می‌شود. بنابراین، توجه به نکات ارائه شده در این بخش و رعایت آنها نه تنها به حداقل رساندن آثار مضر آبیاری با آب شور در تولید محصول را در بر می‌گیرد، بلکه به علت تجدیدنظر در اصول ساختاری مربوط به نظام کنترل مطلوب و موفق (از قبیل روش‌ها و راهکارهای بخش آبشوئی و طریقه‌های به زراعی در انتخاب محصول و غیره)، با مقایسه آنچه قبلاً معمول بوده است حفاظت از منابع خاک را نیز شامل می‌گردد. برای دسترسی به عملکرد رضایتبخش، لزوم توجه به نکات ذکر شده در این قسمت اجتناب‌ناپذیر است.

قسمت‌های مورد بحث مدیریت و شیوه‌های بکارگیری بی‌خطر آب شور در آبیاری به دو بخش عمده تقسیم می‌گردد: مبانی عمده مدیریت و مدیریت تولید محصول. انتخاب هر گزینه متأثر از عوامل مختلف بوده و اغلب از ترکیب دو و یا چندین روش مدیریتی می‌باشد. بنابراین، توصیه بکارگیری یک راه منحصر به فرد بدون توجه به مبانی عمده مدیریتی (نظیر نوع گیاه، کیفیت آب آبیاری، الگوی بارندگی

و اقلیم و خصوصیات خاک) غیرممکن می‌باشد. هر یک از مراحل یاد شده فرآیندهای بسیار پیچیده‌ای تشکیل شده‌اند که در مجموع برای هدف و منظور ویژه‌ای می‌باشند. در این انتخاب باید به کشاورزی پایدار توجه ویژه‌ای مبذول داشت.

۷-۲-۱- انتخاب گیاهان مقاوم به شوری

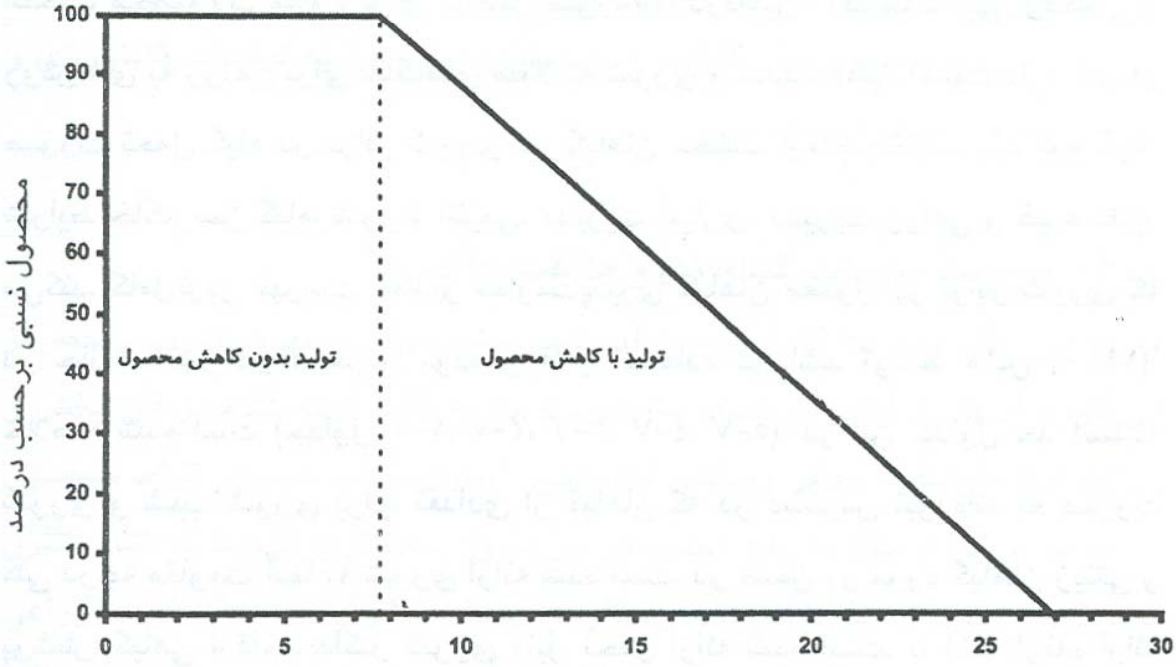
مقاومت گیاهان زراعی در برابر شوری و غلظت بالای عناصر کم مصرف به یک اندازه نمی‌باشد. اطلاعات مربوط به مقاومت محصولات زراعی در برابر شوری: (۱) در تشخیص علائم ناشی از زیان‌های شوری که در مزرعه بروز می‌کند (۲) در انتخاب محصولات مقاوم برای اراضی شور، (۳) درتعیین احتیاجات آبی، زهکشی و روش‌های به زراعی برای خاک‌های مبتلا به شوری و سدیک (قلیا) اهمیت دارد. در هر صورت تحمل گیاه در برابر شوری در گیاهان مختلف ارقام مختلف، یک نوع گیاه، شرایط خاک، سن گیاه، شرایط اقلیمی، مدیریت آبیاری، مدیریت زراعی و غیره تغییر می‌کند. کامل‌ترین فهرست مقادیر مقاومت‌پذیری گیاهان معمول در برابر شوری که در حال حاضر در دسترس بوده و قابل استفاده می‌باشد توسط ماس (۱۹۹۰)[1] خلاصه شده است (جداول ۷-۱، ۷-۲، ۷-۳، ۷-٤، ۷-٥). در این جداول حد آستانه شوری و شیب شوری برای تعدادی از گیاهان که در دسترس نبوده‌اند به صورت کلی درجه مقاومت آنها به شوری ارائه شده است. در ضمن در مورد گیاهان زینتی و پوشش گیاهی ارقام حداکثر شوری قابل تحمل ارائه شده است. با آنکه ارقام ارائه شده در این جداول به علت اثرات متقابل شوری با عوامل ذکر شده خیلی دقیق نمی‌باشند، لیکن در مقام مقایسه و به منظور پیش‌بینی تحمل یک گیاه نسبت به گیاه دیگر، در شرایط شوری کاربرد دارند. در اینجا منظور از مقاومت گیاه در شرائط عادی یعنی خاک غیرشور است. آستانه شوری نیز به مقداری از حد بالای شوری خاک (عصاره اشباع خاک = EC_e) که گیاه کاهش محصول نشان نمی‌دهد، توصیف می‌گردد. عموماً رابطه بین مقدار نسبی محصول (Y) و B شیب خط (درصد کاهش

1- Mass, 1990

برابر حد آستانه‌ای شوری (ds/m) یا حداکثر شوری محیط ریشه که در آن میزان رشد و یا عملکرد نیز به مقدار بیشینه خود می‌رسد و از آن به بعد کاهش محصول نشان می‌دهد به صورت زیر می‌باشد:

$$Y = 100 - B(EC_e - A) \qquad EC_e \geq A \qquad (۱-۷)$$

$$Yr = 100 \qquad EC_e \leq A$$



هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (ECe) بر حسب ds/m

شکل ۷-۱- نمودار محصول نسبی پنبه در شرایط شوری خاک

مثلاً پنبه یک گیاه مقاوم به شوری است تا هنگامی که شوری عصاره خاک از حد ۷/۷ ds/m کمتر است کاهش محصولی در پنبه مشاهده نمی‌شود اما هنگامی که

شوری عصاره اشباع خاک از این حد بگذرد به ازای افزایش هر واحد شوری ۵/۲٪ از محصول تولیدی پنبه نسبت به شرایط غیر شور کاسته می‌شود (نمودار ۷-۱).

معیار سنجش شوری خاک، متوسط وزنی هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (EC_e) منطقه ریشه می‌باشد. برای اندازه‌گیری و محاسبه متوسط وزنی شوری، خاک منطقه ریشه به چهار منطقه مساوی تقسیم شده و هدایت الکتریکی عصاره اشباع هر منطقه اندازه‌گیری می‌شود. سپس میانگین وزنی آن به صورت زیر محاسبه می‌گردد.

$$EC_e=(EC_{e1}\times 0.4)+(EC_{e2}\times 0.3)+(EC_{e3}\times 0.2)+(EC_{e4}\times 0.1)$$

EC_e: میانگین وزنی هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک منطقه ریشه.

$EC_{e\,1}$: هدایت الکتریکی عصاره اشباع چارک بالایی منطقه ریشه.

$EC_{e\,2}$: هدایت الکتریکی عصاره اشباع چارک دوم منطقه ریشه.

$EC_{e\,3}$: هدایت الکتریکی عصاره اشباع چارک سوم منطقه ریشه.

$EC_{e\,4}$: هدایت الکتریکی عصاره اشباع چارک چهارم (آخرین لایه) خاک منطقه ریشه.

در جدول ۷-٦- مقدار متوسط آستانه شوری برای محصولات زراعی به صورت کلی متناسب با حساسیت و یا مقاومت آنها به شوری آب خاک دسته‌بندی شده است. با افزایش تراکم گیاهانی که در شرایط شور اندازه کوچکتری به خود می‌گیرند تا حدودی می‌توان اثرات نامناسب شوری را تقلیل داد. افزایش تراکم سبب جذب بیشتر انرژی تابش خورشید گردیده که حاصل آن افزایش تولید نسبت به شرایط عادی است.

جدول ۷-۱- تحمل شوری گیاهان زراعی علفی
(گیاهان لیفی- دانه‌ای و گیاهان زراعی خاص)

گیاه زراعی	حد آستانه شوری (A)	شیب (B)	درجه مقاومت
جو	۸	۵	T
لوبیا	۱	۱۹	S
باقلا	۱/۶	۹/۶	MS
ذرت	۱/۷	۱۲	MS
پنبه	۷/۷	۵/۲	T
لوبیای چشم بلبلی	۴/۹	۱۲	MT
کتان	۱/۷	۱۲	MS
گوار (یک نوع کودسبز)	۸/۸	۱۷	T
کنف			MT
گاورس، ارزنی / دم روباهی			MS
یولاف، جو دوسر			S
بادام‌زمینی – پسته‌زمینی- پسته‌شام	۳/۲	۲۹	MS
برنج شالی زاری	۳	۱۲	S
چاودار	۱۱/۴	۱۰/۸	T
گلرنگ، کاجیره			MT
کنجد			S
جاروی رشتی	۶/۸	۱۶	MT
سویا	۵	۲۰	MT
چغندر قند	۷	۵/۹	T
نیشکر	۱/۷	۵/۹	MS
آفتابگردان			MS
گندم	۶	۷/۱	MT
گندم (نیمه پاکوتاه)	۸/۶	۳	T
گندم (گندم ماکارونی)	۵/۹	۳/۸	T

جدول ۷-۲- تحمل شوری گیاهان علفی

گیاه زراعی	حد آستانه شوری (A)	شیب (B)	درجه مقاومت
یونجه	۲	۷/۳	MS
سیاه ناو			T
جو علوفه‌ای	٦	۷/۱	MT
آروای معمولی علف نیزار- علف بوریا			MS
مرغ	٦/۹	٦/٤	T
علف پشمکی نرم یا جارو گندمی نرم			MT
توت روباهی			MS
دانه قناری کوهستانی- دانه قناری نی			MS
شبدر دورگ	۱/٥	۱۲	MS
شبدر برسیم	۱/٥	٥/۷	MS
شبدر هوبام			MT
شبدر لادینو	۱/٥	۱۲	MS
شبدر قرمز	۱/٥	۱۲	MS
شبدر ایرانی	۱/٥	۱۲	MS
شبدر شیرین			MT
شبدر سفید – شبدر خزنده			MS
ذرت علوفه‌ای	۱/۸	۷/٤	MS
لوبیا چشم بلبلی علوفه‌ای	۲/٥	۱۱	MS
ارزن باتلاقی- چمن			MS
علف بره پابلند	۳/۹	٥/۳	MT
علف بره مرتعی (چمن زاری)			MT
دم روباهی (چمن زاری)	۱/٥	۹/٦	MS
دانه قناری	٤/٦	۷/٦	MT

ادامه جدول ۷-۲- تحمل شوری گیاهان علفی

گیاه زراعی	حد آستانه شوری (A)	شیب (B)	درجه مقاومت
هرمری - علف عشق	۲	۸/٤	MS
گون کتیرا- گون			MS
یولاف پوچ- جو دوسر پوچ- گندم			MS
یولاف - جودوسر			MS
علف باغ	۱/٥	٦/۲	MS
ارزن (آبی)			MT
کلزا (از خانواده کلم)			MT
چاودار علوفه‌ای			MS
چچم پرگل			MT
چچم پایدار (دائمی)	٥/٦	۷/٦	MT
سسبان - لوبیای درختی	۲/۳	۷	MS
چمن سودانی	۲/۸	٤/۳	MT
لوئیچه، دم گربه‌ای			MS
شبدر بزرگ	۲/۳	۱۹	MS
شبدر باریک برگ پا پرنده‌ای	٥/۰	۱۰	MT
شبدر پهن برگ پاپرنده‌ای			MT
ماشک معمولی - کرسنه	۳	۱۱	MS
گندم علوفه‌ای	٤/٥	۲/٦	MT
گندم ماکارونی علوفه‌ای	۲/۱	۲/٥	MT
چمن گندمی بیابانی	۳/٥	٤	MT
چمن گندمی، تاج خروسی	۷/٥	٦/۹	T
چمن گندمی، بلند	۷/٥	٤/۲	
چاودار وحشی	۲/۷	٦	MT
چاودار وحشی کانادایی			MT
چاودار وحشی روسی			T

جدول ۷-۳- سبزی‌ها و میوه‌ها

گیاه زراعی	حد آستانه شوری (A)	شیب (B)	درجه مقاومت
آرتیشو - کنگر فرنگی			MT
مارچوبه	٤/١	٢	T
لوبیا	١	١٩	S
چغندر قرمز	٤	٩	MT
گل کلم گرزنی (بورکلی)	٢/٨	٩/٢	MS
کلم فندقی- کلم (بروکسل)			MS
کلم معمولی	١/٨	٩/٧	MS
هویج	١	١٤	S
کلم گل - کلم رومی			MS
کرفس	١/٨	٦/٢	MS
ذرت شیرین	١/٧	١٢	MS
خیار	٢/٥	١٣	MS
بادمجان	١/١	٦/٩	MS
سیر	٣	١٧	S
کلم پیچ			MS
کلم قمری			MS
کاهو	١/٣	١٣	MS
خربزه - خربزه وحشی			MS
بامیه			S
پیاز	١/٢	١٦	S
جعفری فرنگی			S
نخود فرنگی			S
فلفل	١/٥	١٤	MS
سیب زمینی	١/٧	١٢	MS
کدو مسمایی			MS
تربچه، ترب	١/٢	١٣	MS
اسفناج	٢	٧/٦	MS
کدو (رقم اسکالوپ)	٣/٢	١٦	
کدو (رقم زوچینی)	٤/٧	٩/٤	
توت فرنگی	١	٣٣	
سیب زمینی شیرین	١/٥	١١	MS
گوجه فرنگی	٢/٥	٩/٩	MS
شلغم	٠/٩	٩	MS
هندوانه			MS

جدول ۷-٤ - تحمل شوری درختان میوه

گیاه زراعی	حد آستانه شوری (A)	شیب (B)	درجه مقاومت
بادام	۱/۵	۱۹	S
سیب			S
زردآلو- قیسی	۱/٦	۲٤	S
آووکادو			S
تمشک	۱/۵	۲۲	S
بویزن بری	۱/۵	۲۲	S
کرچک			MS
شیرین بر			S
ریش بز			S
نخل خرما	٤	۳/٦	T
انجیر			MT
انگور فرنگی			S
انگور	۱/۵	۹/٦	MS
گریپ فروت	۱/۸	۱٦	S
لیموشیرین			S
لیموشیرین - لیمو عمانی			S
ازگیل ژاپنی			S
انبه			S
زیتون			MT
پرتقال	۱/۷	۱٦	S
خربزه درختی			MT
گل ساعتی			S
هلو			S
گلابی	۱/۷	۲۱	S
خرمالو			S
آناناس			MT
آلو، گوجه	۱/۵	۱۸	S
انار			MT
(دارابی) - توسرخ			S
تمشک			S
جم - اوجن			S
نارنگی			S

جدول ۷-۵- تحمل شوری درختان و درختچه‌های زینتی و پوشش‌های گیاهی

نوع گیاه	حداکثر شوری	نوع گیاه	حداکثر
گیاهان خیلی حساس		**گیاهان با حساسیت متوسط**	
یاسمن	۲-۱	سرو خمره‌ای	٦-٤
شیرخشت پیرنه	۲-۱	پیراکانتا رقم:گارابوی	٦-٤
ماهونیا- زرشک درختی	۲-۱	**گیاهان بامقاومت متوسط**	
سه رنگ	۲-۱	شیشه‌شور مجنون	۸-٦
گیاهان حساس		خرزهره	۸-٦
آناناس کوآوا	۳-۲	نخل زینتی اروپایی	۸-٦
خاس رقم : بورفورد	۳-۲	دراسنای آبی	۸-٦
ورد (گل سرخ) رقم: گرینوبل	۳-۲	شمشاد رقم:	۸-٦
آبلیا	۳-۲	رومارن - رزماری	۸-٦
عشقه الجزایری	٤-۳	کاج جلب	۸-٦
ژدانه ژاپنی	٤-۳	عنبر سائل آمریکایی	۸-٦
خیزران	٤-۳	**گیاهان مقاوم**	
ختمی چینی	٤-۳	گیلاس وحشی	>۸
درخت غار	٤-۳	Ceniza	>۸
توت فرنگی درختی	٤-۳	آلوناتل	>۸
توری	٤-۳	نخود همیشه سبز	>۸
گیاهان با حساسیت متوسط		گل کاغذی	>۸
برگ نوی درخشان	٦-٤	کل سنگی ایتالیایی-کاج	>۸
مریم گلی زرد	٦-٤	**گیاهان خیلی مقاوم**	
ماگنولیای سفید یا تابستانی	٦-٤	٦-٤	>۸
شمشاد ژاپنی	٦-٤	گل نیمروز ارغوانی	>۱۰
کاج سیاه ژاپنی	٦-٤	گل نیمروز کروسیوم	>۱۰

جدول ۷-٦- مقدار متوسط آستانه شوری محیط ریشه ECe برای محصولات زراعی(رودز،۱۹۹۲)

حساسیت محصول		آستانه شوری ds/m (EC_e)
حساسیت	Sensitive = S	۰ – ۱/۵
نیمه حساس	(Moderately Sensitive=M)	۱/۵ – ۳/۰
نیمه مقاوم	Moderalely Tolerant	۳/۰ – ٦/۰
مقاوم	Tolerant	٦/۰ – ۱۰/۰
خیلی مقاوم	Extremely Tolerant	> ۱۰/۰

توجه به دوران جوانه‌زنی و رشد اولیه در گیاهان مقاوم به نمک اهمیت خاصی دارد. این مرحله معمولاً حساس‌ترین مرحله رشد است. وجود نمک در بستر بذر سبب کاهش جوانه‌زنی و افزایش زمان خروج از خاک می‌گردد. از آنجائیکه که جوانه اولیه به علت ایجاد لایه سخت ناشی از خشک شدن سطح خاک قادر به خروج از خاک نخواهد شد، رشد آن محدود شده به علاوه امکان ابتلا به بیماری به خاطر تأخیر در خروج گیاه از خاک افزایش می‌یابد. در صورتی که امکان ایجاد لایه سخت در سطح خاک وجود داشته باشد میزان بذرپاشی به منظور حصول جوانه‌زنی و رشد اولیه مناسب باید افزایش یابد. برای مقابله با لایه‌های سخت باید از روش‌هایی نظیر مالچ‌پاشی و در صورت قلیایی بودن خاک با کاربرد مواد گچی بهره گرفت. در جدول ۷-۷- مقاومت نسبی محصولات مختلف به شوری عصاره اشباع خاک در مرحله جوانه‌زنی و محصول‌دهی براساس ۵۰ درصد احتمال ارائه شده است.

۷-۲-۲- جلوگیری از تجمع بیش از حد نمک و مواد قلیایی در بستر بذر و خاک سطحی

تجمع بیش از حد نمک زمانی که از سیستم آبیاری نواری با بستر مرتفع و از پشته‌های بلند در آبیاری شیاری برای کشت استفاده می‌شود، حتی اگر میانگین نمک در خاک و آب آبیاری نسبتاً معتدل باشد، می‌تواند به جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاه آسیب وارد نماید. از آنجایی که نمک با آب به حرکت در می‌آید به تدریج در سطح و

مرکز پشته‌ها تجمع می‌نماید و چنانچه بذر در یک ردیف در مرکز پشته کاشته شود بیشترین آسیب را خواهد دید. ماهیت نمک به صورتی است که در آبیاری شیاری دائماً آب در مسیر نقطه بلند جریان داشته و تبخیر در آن نقطه متمرکز می‌شود. این مشکل با استفاده از آب شور در آبیاری تشدید می‌گردد (برن اشتاین و فایرمن، ۱۹۵۷)[1]. مطالعات اولیه نشان می‌دهد که بستر بذر و کشت شیاری را می‌توان به طریقی طراحی نمود که این مسئله به حداقل برسد. نحوه بذرپاشی و آبیاری سطحی (نمونه‌های مختلف آبیاری شیاری، تغییر عمق آب در شیارها و غیره) به صورتی که بتوان حداکثر کشت و کار را تحت شرایط شور به دست آورد توسط کروس و همکاران (۱۹۹۰)[2] تشریح شده است. بنابراین مشکل بستر بذر، عمق و محل قرار گرفتن بذر و فرآیند آبیاری باید به صورتی مدیریت شود تا نمک مازاد در محلی که ریشه گیاهان نوپا در حال رشد هستند تمرکز ننماید. به منظور جلوگیری از صدمات حاصله از نمک به جوانه‌ها می‌توان نقاط اوج پشته‌ها را برداشته و با مضاعف ساختن ردیف بذرها در شرایطی که میزان نمک نسبتاً پایین باشد بیشتر نمک در مرکز بستر تجمع نموده و شانه‌های بستر عاری از نمک گردد که برای بذرکاری بسیار مناسب خواهد بود.

بسترهای شیب‌دار خاک مناسب‌ترین مکان برای آبیاری با آب شور می‌باشد، زیرا گیاه را می‌توان در پایین دست شیب (زیر منطقه تمرکز نمک) کشت نمود. در این حالت نمک به جای تمرکز در محدوده گیاه، از آن دور می‌گردد. کشت در داخل جوی و حوضچه‌ها از نقطه نظر کنترل شوری مناسب می‌باشد اما می‌تواند در بیرون آمدن بسیاری از گیاهان ردیفی جوان به خاطر سخت شدن خاک و عدم امکان جریان یافتن هوا نامناسب باشد. آبیاری مقدماتی قبل از جوانه‌زنی با استفاده از آبیاری بارانی و قطره‌ای و قرار دادن خطوط لوله در کنار بستر بذر غلظت نمک را در طول جوانه‌زنی و رویش اولیه پایین نگه می‌دارد. از شیارهای ویژه موقت می‌توان به جای خطوط لوله آبیاری قطره‌ای در طول زمان تثبیت گیاه استفاده نمود. پس از ریشه دوانی و تثبیت گیاه شیارهای ویژه جمع‌آوری شده و شیارهای جدیدی بین ردیف‌ها احداث

1- Bernstein and Fireman, 1957
2- Kruse et al., 1990

می‌گردد. به همین طریق در این مرحله بحرانی از آبیاری بارانی به جای آبیاری شیاری می‌توان استفاده نمود. آبیاری بارانی روش مؤثری است برای آبشویی خاک و تخلیه نمک اضافی از سطح خاک و ایجاد محیطی مناسب با شوری ملایم در لایه بالایی خاک که برای گیاهان حساس به نمک ضرورت دارد (برنستین و فرانکویس، ۱۹۷۳)[1]. به هر حال استفاده از سیستم آبیاری بارانی با آب شور مشکلاتی را به همراه دارد (مانند صدمه به برگ‌ها). در آبیاری قطره‌ای معمولاً میزان نمک موجود در خاک درست در زیر و مجاور قطره چکان‌ها پایین بوده و در حاشیه پیرامون منطقه خیس شده دارای بالاترین مقدار می‌باشد. حذف نمک جمع شده در این منطقه (پیشانی) باید در درازمدت انجام شود. شیوه‌های مدیریت گیاهان تحت آبیاری قطره‌ای برای کنترل نمک باید در درازمدت انجام گیرد. این موضوع به تحقیق و بررسی بیشتری نیاز دارد.

خاک‌های قلیایی در زمان آبیاری به خصوص با آب‌های کم شور یا در هنگام باران دستخوش تغییراتی نظیر پراکندگی و از هم گسستگی ذرات خاک شده و در اثر خشک شدن تبدیل به توده‌ای یکپارچه با سطحی بسیار سخت می‌گردد (رودز و لاودی، ۱۹۹۰)[2]. بعضی مواقع سطح خاک تبدیل به لایه‌ای حجیم و سنگین شده و یا ذرات خاک به یکدیگر چسبیده و تشکیل خاکی را می‌دهند که در عملیات آماده‌سازی بسیار کلوخه‌ای گردیده و چندان مناسب برای بستر بذر نمی‌باشد. به کار بردن مواد شیمیایی اصلاح‌کننده مانند گچ و سایر روش‌های مؤثر در اصلاح خاک برای بهبود چنین شرایطی ضروری است. در نتیجه بستر مناسب‌تری برای رشد اولیه گیاه فراهم می‌گردد و سبب می‌شود ورود آب و ذخیره آب در خاک بهبود یافته، امکان شستشوی نمک محلول فراهم شده، هزینه شخم و شیار کاهش یافته و قابلیت انعطاف بیشتری در بسترسازی ایجاد گردد. فعالیت‌هایی که سبب نگهداشتن سطوح مواد آلی در خاک می‌گردند مانند کود سبز و باقی مانده محصولات سبب حفظ بهتر شرایط کشت می‌گردند. در جایی که شرایط ساختمانی خاک ممکن است به جوانه‌زنی، ظهور و تثبیت گیاه آسیب وارد نماید با افزایش دفعات آبیاری سبک می‌توان برای نرم کردن

1- Bernstein & Francois, 1973
2- Rhoades and Loveday, 1990

لایه سخت خاک بهره گرفت. اکثر آب‌های شور حاصل از زهکشی دارای میزان بالای سدیم می‌باشند و استفاده از آنها سبب افزایش میزان قلیائیت خاک به خصوص خاک سطحی می‌گردد (اوستر، ۱۹۹٤[1] و آیرز و همکاران، ۱۹۹۳)[2]. قلیائیت خاک یکی از عوامل محدودکننده استفاده مجدد از آب شور حاصل از زه‌آب برای آبیاری می‌باشد، گرچه در روش‌های پیشنهادی به صورت آبیاری سری یا دوره‌ای تأثیر آن به حداقل می‌رسد. در مورد تعیین کمیت مواد اصلاح‌کننده یا نیازهای مدیریتی برای استفاده پایدار از آب شور یا قلیایی حاصل از زه‌آب برای آبیاری در شرایط مختلف خاک نیاز به تحقیق و بررسی بیشتر می‌باشد.

جدول ۷-۷- مقاومت نسبی محصولات مختلف در مرحله جوانه‌زنی و محصول‌دهی(رودز، ۱۹۹۲)

محصول	هدایت الکتریکی عصاره اشباع در حد ۵۰ درصد محصول‌دهی ds/m	هدایت الکتریکی عصاره اشباع در حد ۵۰ درصد جوانه‌زنی ds/m
جو	۱۸	۱٦-۲٤
پنبه	۱۷	۱۵
چغندر لبوئی	۱۵	٦/۰-۱۲/۰
ذرت خوشه‌ای	۱۵	۱۳
آفتابگردان	۱٤	۱۲
گندم	۱۳	۱٤-۱٦
چغندر قرمز	۹/٦	۱۳/۸
ماش، لوبیا چشم بلبلی	۹/۱	۱٦
یونجه	۸/۹	۸/۰ – ۱۳/۰
گوجه فرنگی	۷/٦	۷/٦
کلم	۷	۱۳
ذرت	۵/۹	۲۱-۲٤
کاهو	۵/۲	۱۱
پیاز	٤/۳	۵/٦ -۷/۵
برنج	۳/٦	۱۸
لوبیا	۳/٦	۸

1- Oster, 1994
2- Ayars et al., 1993

۷-۲-۳- عناصر سمی و یون‌های ویژه

علاوه بر شوری، وجود عناصر سمی در آب آبیاری هرگاه از غلظت مجاز بیشتر شوند، اثر آنها مضاعف براثر شوری خواهد بود. گیاهان از نظر قابلیت جذب و تحرک عناصر سمی یکسان نیستند و عده‌ای از گیاهان هستند که به علت خاصیت تراکمی زیادی که نسبت به جذب عناصر سمی نشان می‌دهند، از آنها فقط برای بهبود و اصلاح خاک استفاده می‌کنند. این گیاهان نباید در مجاورت محصولات زراعی قرار گیرند. زیرا از باقیمانده این گیاهان مواد سمی بجا می‌ماند که زیان‌آور است. در بعضی از مناطق وجود عنصر سلنیم (Se) در آب زهکشی یافت شده است، بنابراین استفاده از این نوع آب‌ها برای محصولات کشاورزی خطرناک می‌باشد. زیرا حد سمیت این عنصر به قدری کم است که وجود مختصر از آن در آب آبیاری وارد چرخه محیط زیست شده و در نهایت به انسان صدمه می‌زند. این یون‌ها به تنهایی و یا با یکدیگر با افزایش فشار اسمزی موجب تنش شده و همانند اثر شوری بر رشد گیاهان اثرات زیانباری به جای می‌گذارد.

۷-۲-۴- تحویل آب به مزرعه به مقدار لازم و در زمان مناسب

کنترل شوری در اراضی آبی، به ویژه در شرایطی که از آب شور جهت آبیاری استفاده می‌گردد، به مدیریت آبیاری مطلوب نیاز دارد. ضرورت‌های اولیه مدیریت برای کنترل شوری عبارتند از: برنامه منظم و مناسب آبیاری، آبشویی کافی، زهکشی مناسب و کنترل سطح آب زیرزمینی. سیستم تحویل آب، روش و شیوه آبیاری را نیز باید در زمره برنامه مناسب آبیاری با آب شور دانست. کلید آبیاری مؤثر و موفق، به لحاظ کنترل شوری عبارت از تأمین یکنواخت آب به مقدار مناسب در زمان مشخص بدون کاربرد اضافی برای گیاه است. بنابراین، کنترل دقیق زمان آبیاری و یکنواختی و میزان کاربرد آب از جمله پیش نیازهای کارآمدی بالای مصرف آب شور و تولید محصول است.

تأمین ابزار اندازه‌گیری مقدار نمک موجود در خاک، اندازه‌گیری میزان آب مورد استفاده گیاه، پیش‌بینی نقطه تنش آبی گیاه و کنترل دقیق حجم آب تحویل و میزان آب خروجی از هر مزرعه از ضروریات مدیریت آبیاری با آب شور می‌باشد.

بدین منظور نیاز به نصب تجهیزات اندازه‌گیری و کنترل مؤثر جریان می‌باشد. زیرا در غیر اینصورت شناخت میزان مقدار تلفات نشت عمقی مشکل بوده و احتمال آبیاری بیش از حد وجود خواهد داشت. باید توجه داشت که سیستم‌های تحویل آب اگر خود علت آبیاری بیش از حد نباشند، ولی این عمل را تشدید می‌کنند. مثلاً در روش‌های تحویل گردشی آب، بدون توجه به تغییرات فصلی نیاز آبی مزرعه، به مقدار قطعی در یک دوره مشخص برای هر مزرعه تأمین می‌شود. لذا برای سیستم‌هایی که به جریان پیوسته آب نیاز دارند مناسب نبوده و یا در شرایطی که به دوره‌های خشک نگهداشتن مزرعه نیاز باشد سبب اتلاف و کاربرد غیرلزوم آب خواهد شد.

تلفات بیش از حد آب آبیاری از طریق کانال‌هایی که در خاک‌های نفوذپذیر ساخته می‌شود به طور قابل ملاحظه‌ای در افزایش سطح آب زیرزمینی دخالت داشته و سبب شور شدن خاک‌ها در بسیاری از پروژه‌های آبیاری شده است. این گونه تلفات نشت باید از طریق پوشش کانال‌ها توسط مواد غیرقابل نفوذ و یا کوبیدن خاک در محدوده محیط خیس شده کاهش یابد. چنانچه آب از میان طبقات نمک عبور نماید یا سبب جابجایی آب زیرزمینی شور گردد، مقدار نمک برداشتی از این منبع بسیار قابل ملاحظه خواهد بود. پوشش کانال‌ها سبب کاهش ماندابی اراضی و تجمع نمک می‌گردد. سیستم‌های انتقال با مجرای سربسته (لوله‌ها) می‌توانند تلفات نشت و تبخیر آب را به حداقل رسانده و مقدار آب مصرفی علف‌های هرز را محدود سازد. این سیستم لوله‌ها هم چنین قابلیت افزایش راندمان آبیاری و کاهش تجمع نمک را فراهم می‌آورند (وان اسکیلفگارد و راولینگ، ۱۹۸۰)[1].

1- Van Schilfgaarde and Rawling, 1980

۷-۲-۵- آبیاری مؤثر با حداقل میزان آبشویی و تولید زه‌آب

همانطور که قبلاً اشاره شد تجمع نمک‌های قابل حل در خاک‌ها متناسب با مقدار و میزان نمک آب آبیاری و تبخیر آب موجود درخاک، افزایش می‌یابد. به علاوه، تبخیر و تعرق می‌تواند سبب حرکت آب سفره‌های زیرزمینی کم عمق (و همچنین نمک) به سمت بالا شده و وارد منطقه توسعه ریشه گردد، که در نتیجه شوری خاک افزایش می‌یابد. به علت فرآیند اخیر، اکثر خاک‌هایی که دارای سفره آب زیرزمینی کم عمق هستند شور می‌باشند. در هر حالت، نمک‌های محلول به تدریج درخاک‌های تحت آبیاری تجمع نموده به حدی که به میزان تولید آسیب می‌رساند مگر اینکه قدم‌های لازم جهت جلوگیری از این حالت برداشته شود.

به منظور جلوگیری از تجمع مفرط نمک در منطقه توسعه ریشه در اثر آبیاری باید در یک دوره طولانی میزان حداقل آب مازاد برآبیاری (یا بارندگی) اضافه برمقدار مورد نیاز تبخیر و تعرق از منطقه توسعه ریشه عبور نماید.

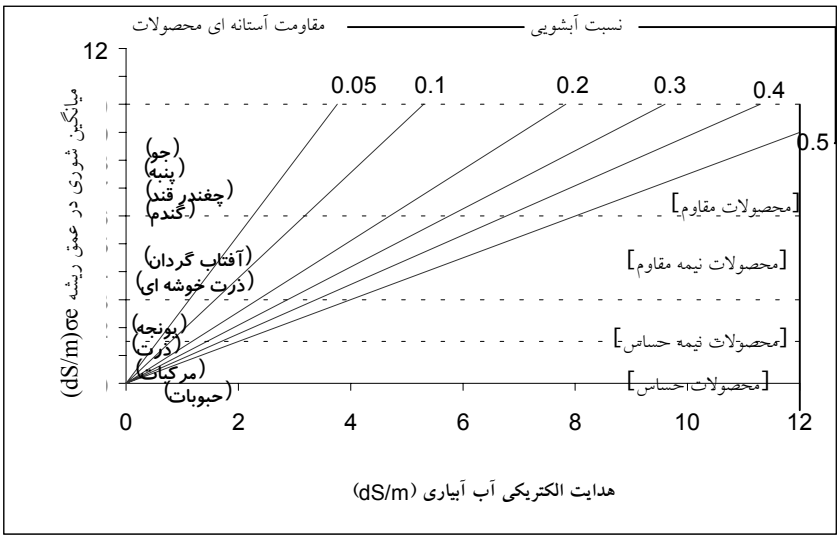
این مقدار که به صورت کسر بیان می‌گردد تحت عنوان "کسر آبشویی" تعریف می‌شود (LF کسر آب نفوذ یافته‌ای است که از منطقه توسعه ریشه عبور نموده و سبب می‌شود که میزان نمک در منطقه مذکور در سطح قابل قبولی باشد (آزمایشگاه شوری خاک آمریکا، ۱۹۵٤)[1].

برای پیش‌بینی مقدار محصول تولیدی با آب شور، تنها دانستن شوری آب آبیاری کافی نیست بلکه باید کسر آبشویی نیز مشخص باشد. با استفاده از نمودارهای ۷-۲- الف و ۷-۲-ب می‌توان با توجه به هدایت الکتریکی آب آبیاری (ECiw) و کسر آبشویی (LF)، مقدار میانگین هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک منطقه ریشه را در حالت تعادل (EC_e) برای دور آبیاری کوتاه و معمولی تخمین زد. مثلاً اگر دور آبیاری کوتاه باشد و مقدار ECiw برابر ٦ ds/m فرض شود EC_e در دور آبیاری کوتاه برابر ٦/٢ ds/m و در دور آبیاری طولانی برابر ٧/٥ ds/m خواهد شد. این در شرایطی است که LF برابر ٠/٢ باشد. پس با افزایش مقدار آب آبیاری و بالتبع

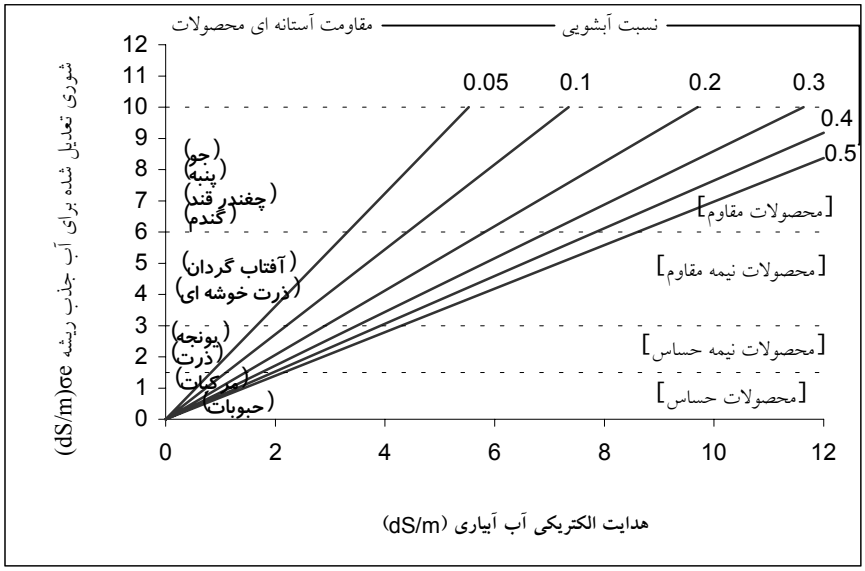
1- USSL, 1954

افزایش LF می‌توان با آب شور محصولات نسبتاً حساس به شوری را نیز با موفقیت آبیاری کرد.

در مزارع تحت آبیاری با مدیریت آبیاری متداول که به شرایط پایداری رسیده باشند، غلظت نمک در آب آبیاری و در لایه سطحی خاک، فارغ از میزان کسر آبشویی، یکنواخت می‌باشد. اما با افزایش عمق، تأثیر LF در شوری خاک افزایش یافته و از نمودارهای (۷-۲) پیروی می‌نماید. اینکه تا چه اندازه بتوان آبشویی و زه‌آب را به حداقل رساند بستگی به مقاومت گیاه نسبت به نمک، توزیع یکنواخت آب در سیستم آبیاری و تغییرات نفوذپذیری سطحی خاک دارد. در اکثر پروژه‌های آبیاری، کسرهای آبشویی که هم اکنون استفاده می‌شود (و در نتیجه حجم زهکشی) را می‌توان بدون آسیب دیدگی محصول و خاک با بهبود در مدیریت به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش داد.



الف- دور آبیاری معمولی



ب- دور آبیاری کوتاه

شکل ۷-۲- رابطه بین شوری آب آبیاری و شوری عصاره اشباع خاک در دو دور آبیاری مختلف الف- دور آبیاری معمولی ب- دور آبیاری کوتاه

۷-۲-۶- زهکشی مناسب خاک

به منظور جلوگیری از ماندابی و شور شدن مضاعف خاک، آب باران و آبیاری نفوذ کرده در خاک که مازاد برنیاز گیاه می‌باشد و سایر آب‌های مازاد (اعم از سطحی و زیرسطحی) که در اراضی آبی جریان دارد باید توسط زهکشی تخلیه گردد. احداث سیستم زهکشی امکان خروج املاحی که در منطقه توسعه ریشه تجمع نموده را فراهم می‌کند و از افزایش نمک خاک جلوگیری می‌نماید. در اراضی که سطح آب زیرزمینی بالادست، توسط سیستم زهکشی در عمق قابل قبولی کنترل شود، به طوری که امکان حرکت آب شور به منطقه توسعه ریشه دراثر نیروی موئینه وجود نداشته باشد و فرصت کافی برای جابجایی ماشین‌آلات و بهره‌برداری از مزرعه بدون کوبیدگی مفرط خاک ایجاد گردد، وجود زهکشی طبیعی ممکن است نیاز به زهکشی مصنوعی را برطرف نماید. آب حاصل از زهکشی باید جمع‌آوری شده و از

ورود آن به عمق زمین و اراضی با کیفیت مناسب جلوگیری به عمل آید. آب حاصل از زهکشی را می‌توان دوباره استفاده نمود یا از طریق نمک‌زدائی، ایجاد حوضچه‌های تبخیری یا تزریق به سفره‌های عمیق مجزا از دسترس خارج نمود.

اگر در نگهداری سیستم زهکشی دقت لازم به عمل نیاید، سطح ایستایی آب بالا آمده و خطراتی را پدید می‌آورد. لذا نگهداری مناسب از سامانه‌های زهکشی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. مقدار آبی که وارد زهکش‌ها می‌شود در حوزه مدیریت آبیاری است. مدیریت آبیاری باید از توان زهکشی در انتقال آب مازاد نفوذ یافته آگاهی داشته باشد و تا حد امکان سعی شود بجای بالا بردن ظرفیت سیستم زهکشی از مقدار آبشویی کاسته شود.

۷-۲-۷- روش‌های مناسب آبیاری با آب شور

بطور کلی پخش آب در سطح مزرعه در روش‌های مختلف آبیاری به سه طریق اصلی زیر صورت می‌پذیرد:

۱- آب در تمام سطح زمین پخش می‌شود مانند آبیاری بارانی و کرتی
۲- آب روی یک خط یا نوار باریک پخش می‌شود مانند آبیاری شیاری
۳- آب در یک نقطه پخش می‌شود مانند آبیاری قطره‌ای

مقایسه روش‌های مختلف آبیاری از نظر کنترل شوری کار چندان ساده‌ای نمی‌باشد زیرا عملیاتی که در هر کدام از این سیستم‌ها صورت می‌گیرد تحت پارامترهای فراوانی قرار دارد.

میانگین زمانی تجمع نمک در منطقه توسعه ریشه‌ها به میزان آب تخلیه شده از خاک در فواصل بین آبیاری و کسر آبشویی بستگی دارد. با افزایش فاصله زمانی بین آبیاری‌ها ضمن خشک شدن خاک، آب موجود در آن کاهش می‌یابد و پتانسیل‌های ماتریک و اسمزی آب موجود در خاک با افزایش غلظت نمک در حجم تقلیل یافته آب کاهش می‌یابد. جذب آب و تولید محصول ارتباط تنگاتنگی با کل میانگین زمانی و مکانی پتانسیل آب موجود در خاک، پتانسیل ماتریک و نیروی اسمزی آن دارد. بعد از آبیاری ریشهٔ گیاه ترجیحاً آب موجود در عمق‌های مختلف منطقه توسعه ریشه با پتانسیل بالای آب را جذب می‌کند. به تدریج با افزایش تخلیه

آب موجود در خاک (که در ابتدای توزیع شوری در آن یکنواخت بوده است) کل پتانسیل آب جذب شده توسط گیاه در عمق‌های مختلف منطقه توسعه ریشه تقریباً یکنواخت می‌گردد. معمولاً این بدان معنی است که بیشتر آب جذب شده در ابتدا از لایه‌های بالایی که نمک آن از لایه پایینی کمتر است صورت می‌گیرد تا زمانی که آب تخلیه شده سبب افزایش کل تنش آبی این لایه در سطحی مساوی با عمق‌های پایین‌تر شود. بعد از آن آب به تناسب بیشتر از لایه‌های عمیق‌تر با نمک بیشتر تخلیه می‌شود در نتیجه اثر شوری به تنهایی بر روی رشد گیاه چشمگیرتر می‌شود. این مسئله ایجاب می‌کند که: ۱) روش آبیاری به صورتی باشد که تنش ماتریک در حداقل قرار گیرد (مانند آبیاری قطره‌ای)، تا صدمات حاصله از آبیاری با آب شور به حداقل برسد و ۲) کسرهای آبشویی باید افزایش یابد تا از تجمع بیش از حد نمک در طبقات پایینی منطقه توسعه ریشه جلوگیری گردد (رودز و مرل، ۱۹۷٦).[1]

در قسمت بعد بطور خلاصه در مورد انواع مختلف آبیاری در مواجه با آب شور بحث می‌شود.

۷-۲-۷-۱- آبیاری سطحی

- آبیاری کرتی

در این روش آبیاری بطور معمول تمام سطح مزرعه به غیر از مرزها به وسیله آب پوشیده می‌شود و به دلیل اینکه شستشوی نمک در این روش به صورت یکنواخت صورت می‌گیرد روش مناسبی برای آبیاری در مواجه با آب شور می‌باشد. اما این روش دارای محدودیت‌هایی نیز می‌باشد که برخی از آنها به شرح زیر است:

- مشکل تسطیح دقیق زمین
- عدم کارایی این روش برای همه محصولات
- عدم نفوذ یکنواخت آب در زمین‌هایی که دارای نفوذپذیری یکنواخت نباشند
- تجمع نمک در فاصله بین کرت‌ها (مرزها)

1- Rhoades and Merrel, 1976

- آبیاری شیاری

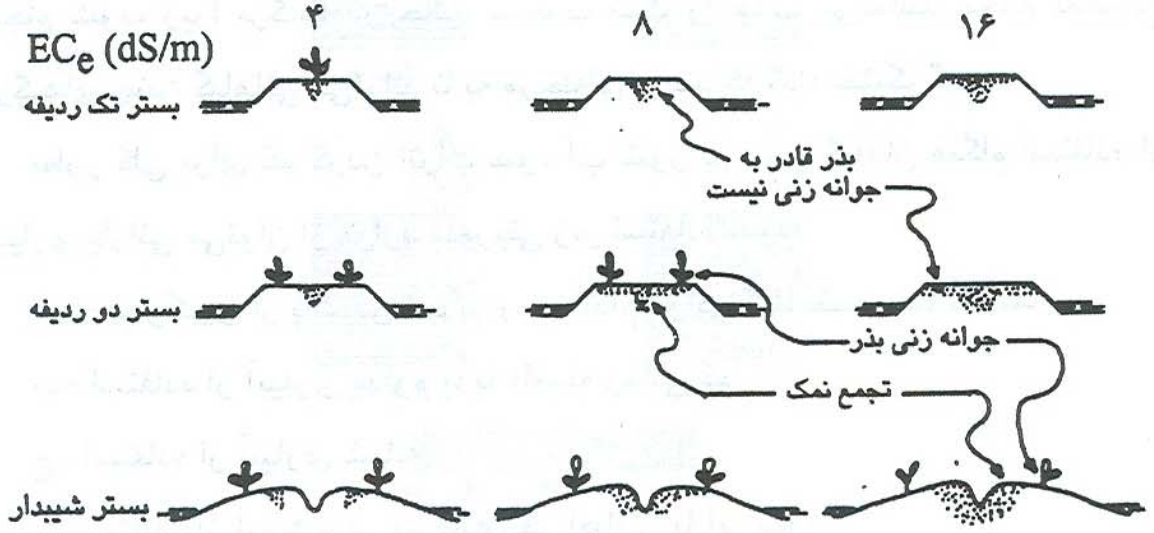
زمانی که یک زمین با روش شیاری آبیاری می‌شود برخی نقاط زمین زیر سطح آب و برخی نقاط دیگر روی سطح آب قرار می‌گیرد. توزیع نمک در این روش در دو جهت عمودی و افقی صورت می‌گیرد.

در این روش آبیاری عموماً روی پشته و بالاتر از داغ آب محل تجمع نمک می‌باشد که این امر می‌تواند موجب آسیب رسیدن به بذر یا گیاه شود. در آبیاری شیاری شیب، میزان جریان و زمان آبیاری و ... از موارد مطرح در میزان تجمع و محل تجمع نمک در خاک می‌باشد.

در این روش آبیاری توصیه می‌شود که قسمت بالایی پشته‌ها از حالت مدور به حالت صاف درآمده و گیاه در اطراف مرکز پشته (که محل تجمع نمک می‌باشد) کاشته شود.

شاید بتوان گفت که بهترین شکل پشته‌ها زمانی که از آب شور برای آبیاری استفاده می‌شود شیب‌دار می‌باشد. در این حالت می‌توان با اطمینان زیاد بذر را روی سطح شیب‌دار و پایین‌تر از محل تجمع نمک در بالای پشته کاشت.

شکل زیر الگوی تجمع نمک را در انواع مختلف پشته‌ها در شوری‌های مختلف نشان می‌دهد.



شکل ۷-۳- الگوی تجمع نمک به عنوان تابعی از محل بذر، شکل بستر و سطح شوری خاک (FAO, 1992)

۷-۲-۷-۲- آبیاری بارانی

اگر چنانچه طراحی سیستم آبیاری بارانی به گونه‌ای انجام شده باشد که آب را به صورت یکنواخت در سطح زمین پخش کند می‌تواند موجب شستشوی یکسان نمک در تمام سطح زمین شده که این مسئله یکی از نقاط قوت استفاده از این سیستم در هنگام استفاده از آب شور می‌باشد.

برخی از افراد معتقدند که راندمان شستشوی نمک در آبیاری بارانی بیش از سایر روش‌ها مانند آبیاری کرتی است. دلیل این امر این است که در آبیاری کرتی زمین به یکباره اشباع می‌شود و در حالت اشباع آب از فضاهای بزرگ و با سرعت زیاد عبور می‌کند اما در آبیاری بارانی که حرکت آب در حالت نیمه اشباع صورت می‌گیرد، آب عموماً از فضاهای کوچک عبور کرده و در این حالت راندمان شستشوی نمک بیشتر خواهد بود.

از مزایای دیگر آبیاری بارانی در بهره‌برداری از منابع آب شور این است که می‌توان دور آبیاری در حداقل زمان ممکن قرار داد تا تنش ناشی از کم شدن آب و افزایش شوری در فاصله بین دو آبیاری به حداقل برسد.

آبیاری گیاهان حساس نباید توسط سیستم آبیاری بارانی با استفاده از آب شور انجام شود، زیرا برگ‌ها در حالت مرطوب نمک را جذب می‌نمایند. تجمع نمک در برگ‌های چنین گیاهانی می‌تواند تا به مرحله‌ای برسد که گیاه خشک گردد.

بطور کلی برای کم کردن اثرات سوء آب شور بر روی گیاهان هنگام استفاده از آبیاری بارانی می‌توان از موارد مدیریتی زیر استفاده نمود:

الف- جلوگیری از پاشیدن آب بر روی اندام هوایی گیاه خصوصاً برگ‌ها

ب- استفاده از آبیاری مداوم یا با فاصله زمانی کم

ج- استفاده از آبیاری شبانه

د- استفاده از آب شیرین در پایان هر آبیاری با آب شور

هـ- استفاده از گیاهانی که اندام آنها در مقابل آب شور مقاوم‌تر هستند.

۷-۲-۷-۳- آبیاری قطره‌ای

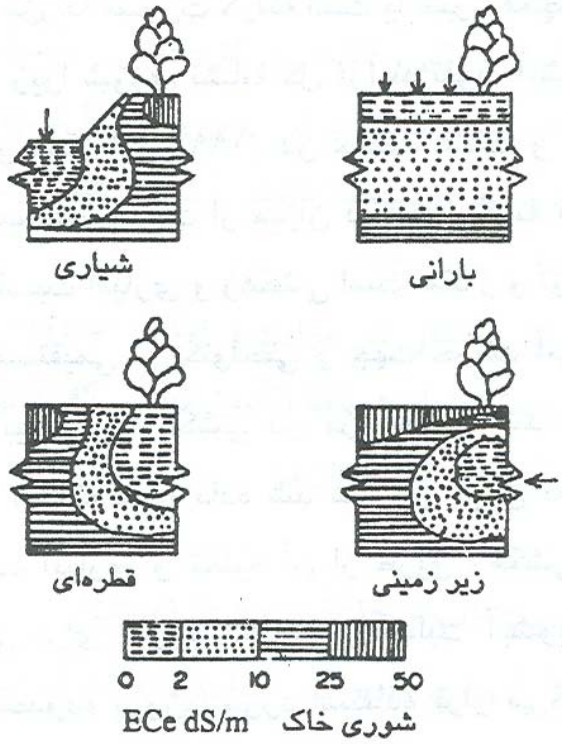
در آبیاری قطره‌ای الگوی توزیع نمک به صورت شعاعی به مرکزیت قطره‌چکان می‌باشد. در این روش معمولاً آبیاری با دبی کم و به صورت پیوسته انجام می‌شود که این امر موجب می‌شود که رطوبت و غلظت نمک خاک ثابت بماند.

اگر چنانچه در این روش محل قطره‌چکان‌ها درست انتخاب شود می‌توان نمک را از محل توسعه ریشه گیاه دور نمود که این امر یکی دیگر از مزیت‌های استفاده از این روش در مواجه با آب شور می‌باشد اما اگر مکان قطره‌چکان‌ها درست انتخاب نشود می‌تواند موجب تجمع نمک در منطقه توسعه ریشه گیاه شود.

از جمله مزیت‌های دیگر این روش این است که اندام‌های هوایی گیاه در این روش خیس نمی‌شوند که این مسئله در مقایسه با روش آبیاری بارانی یک نقطه قوت می‌باشد.

در این روش آبیاری توصیه می‌شود که هر چند وقت یکبار آبیاری کرتی جهت شستن نمک‌های تجمع یافته انجام شود.

شکل زیر نمایی کلی از توزیع شوری در سیستم‌های مختلف آبیاری را نشان می‌دهد.



شکل ۷-٤- محل تجمع نمک تحت سیستم‌های مختلف آبیاری (Chhabra, 1996)

۷-۲-۸- پایش شوری خاک به منظور کفایت آبیاری و زهکشی

به طور مرسوم، مفهوم نیاز آبشویی (LR) و شاخص بیلان نمک (SBI)[1] به منظور ارزیابی کفایت در سیستم‌های آبیاری و زهکشی، راهبری و عملیات کنترل شوری، راندمان و پایداری آبیاری مورد استفاده قرار می‌گیرند (USSL)[2]. ولی تعیین این شاخص برای اینگونه ضرورت‌ها کافی نمی‌باشد. دلایل بسیاری برای این نتیجه‌گیری وجود دارد که ذیلاً برآنها اشاره می‌شود. آب مورد نیاز آبشویی عبارت از مقدار آب لازم به منظور جلوگیری از تلفات مفرط تولید ناشی از تجمع نمک در منطقه توسعه ریشه است. این مفهوم تحت مفروضاتی نظیر حالت پایدار، شرایط یکنواختی کامل آبیاری، نفوذ و تبخیر و تعرق صادق بوده که البته امکان دستیابی به آنها در اکثر شرایط مزرعه وجود ندارد زیرا این عوامل به لحاظ مکانی و زمانی نوعاً پویا و متغیر می‌باشند. تجمع نمک در منطقه توسعه ریشه (ناشی از حرکت آب‌های زیرزمینی کم عمق) روش متداول تعیین شاخص بیلان نمک در محدوده قابل قبول برای رشد گیاه می‌باشد و از این رو می‌توان دریافت که آیا میزان آبشویی کافی و یکنواخت در کلیه نقاط مزرعه صورت گرفته است یا خیر. همچنین، کفایت زهکشی را می‌توان ارزیابی نمود، زیرا شوری نشانهٔ کل فرآیند نفوذ، آبشویی، تبخیر، تعریق و زهکشی است (رودز و همکاران، ۱۹۹۷). در حقیقت غلظت و توزیع نمک در منطقه توسعه ریشه بازتاب مستقیمی است از میزان دخالت اینگونه فرآیندها و معیار قابل قبولی برای کفایت ومناسبت آبیاری و زهکشی است. مقدار و توزیع نمک در مزرعه و نیمرخ خاک اطلاعات مستقیمی از یکنواختی و جهت حرکت آب را فراهم می‌نماید و دلیل کفایت سیستم آبیاری و زهکشی در مزرعه می‌باشد (رودز، ۱۹۷۶، ۱۹۸۰، ۱۹۹۲a). همانگونه که قبلاً توضیح داده شد شاخص بیلان نمک (اختلاف بین نمک اضافه شده در اثر آب آبیاری و تخلیه آن از طریق زهکشی در یک منطقه تحت آبیاری) به طور سنتی برای ارزیابی کفایت و فعالیت آبشویی، عملیات آبیاری و زهکشی (در مقیاس محدوده پروژه) مورد استفاده قرار می‌گیرد. این راهکار برای اینگونه منظورها کافی نیست، زیرا هیچگونه اطلاعاتی در مورد سطح مطلق شوری در

1- Salt Balance Index
2- United States Salinity Laboratory

منطقه توسعه ریشه گیاهان یا مزرعه خاصی در پروژه فراهم نمی‌نماید و هیچگونه معیار واقعی که بتوان با استفاده از آن قضاوت نمود که آیا پروژه در جهت افزایش و یا کاهش نمک در منطقه توسعه ریشه پیش می‌رود نیز به دست نمی‌دهد. زیرا شوری بخش زیرین نیمرخ خاک و منشاء زمین ساختی آن در زه‌آب جمع‌آوری شده از لایه زیر سطحی نقش دارد (رودز، ۱۹۷٤).

در حقیقت به عقیده رودز مدیریت مناسب خاک و آب شور نیاز به موارد زیر دارد:

۱- اطلاعات کافی در مورد گستردگی، مقدار و توزیع نمک خاک در منطقه توسعه ریشه در مزارع تحت پوشش پروژه‌های آبیاری (تهیه فهرست مناسبی از شرایط منطقه)؛
۲- توانایی ردیابی تغییرات در وضعیت شوری خاک با گذشت زمان و تعیین اثرات تغییر مدیریت در شرایط موجود (برنامه پایش مناسب)؛
۳- توانایی شناخت مسایل شوری و علل اساسی و ذاتی طبیعی و مدیریتی آنها (راه کارهای مناسب ردیابی و تشخیص مسایل و شناخت علل آنها)؛
٤- ابزاری برای ارزیابی کفایت و اثربخشی سیستم‌های موجود آبیاری و زهکشی، راهبری و کاربری این سیستم‌ها با توجه به کنترل شوری خاک، حفاظت منابع آب و حفظ کیفیت آب از شور شدن (ابزار مناسب برای ارزیابی عملکرد مدیریت)؛
٥- توانایی تعیین مناطقی در مزارع و تمامی محدوده پروژه آبیاری که دارای نفوذپذیری عمقی زیاد هستند (تعیین نقاطی که نقش زیادی در افزایش آب و بار نمک به آب زیرزمینی دارند).

۷-۳- مدیریت کیفیت آب و حفاظت محیط زیست

همانطور که قبلاً توضیح داده شد، زه‌آب حاصله از آبیاری عامل اصلی شوری اکثر آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌باشد. کشت آبی را نمی‌توان بدون آبشویی کافی و زهکشی مناسب در برابر افزایش نمک خاک حفظ نمود. ولی، این فرآیندها

همان‌هایی هستند که خود سبب افزایش نمک در آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌شوند. اما نمک آب‌های سطحی و زیرزمینی را می‌توان کاهش داد، اگر دخالت بار نمک از طریق فرآیند آبیاری محدود و یا متوقف گردد. حفاظت منابع آب در مقابل افزایش نمک و همزمان حفظ پایداری تولیدات کشاورزی از طریق آبیاری، نیاز به استفاده از مدیریت‌های جامع آب و خاک دارد، در این گونه مدیریت‌ها باید به فرآیندهای طبیعی خاک-گیاه- آب و سیستم‌های وابسته ژئوهیدرولوژی آن توجه نمود.

راهبردهای مختلف در مورد کاهش نمک آب دریافتی از مزارع متأثر از آبیاری و زهکشی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. در این فصل سه راهبرد اساسی مدیریت کیفیت کاربرد آب شور و حفاظت از محیط زیست تشریح می‌گردد.

۷-۳-۱- محدود کردن افزایش نمک از طریق کاهش زه‌آب

به طور کلی با کاهش میزان آبیاری و کسر آبشویی، مقدار کمتری نمک به خاک اضافه می‌گردد. درصد کاهش میزان تخلیه نمک در اثر کاربرد کمتر آب آبیاری برابر است با:

$$۱۰۰ \ (V_H - V_L) / V_L$$

که در آن V_L و V_H به ترتیب حجم آب آبیاری با کسر آبشویی کم و زیاد است. کاهش آبشویی از طریق افزایش میزان رسوب‌بخشی از موادمعدنی، مانند کلسیت و گچ، بار نمک محلول را کاهش می‌دهد. همچنین کاهش آبشویی، کاهش زه‌آب را در پی داشته که به نوبه خود برداشت نمک‌های زمین‌ساختی از نیمرخ خاک تا سطح آب زیرزمینی ناشی از انحلال نمک‌ها، را کاهش می‌دهد. بنابراین در مقایسه با آبشویی زیاد به حداقل رساندن آبشویی نمک اضافه شده به خاک و نمک حاصل از انحلال املاح موجود در نیمرخ خاک را کاهش می‌دهد، در مقابل سبب افزایش غلظت نمک زه‌آب زهکشی می‌گردد. بنابر این اگر بتوان زه‌آب را قبل از برگشت به سطح خاک و

یا تخلیه به آب‌های زیرزمینی جدا نمود، کاهش آبشویی فایده دوچندان خواهد داشت. به طور کلی کاهش آبشویی در شرایطی تأثیر زیاد دارد که آب‌های شور زیرزمینی غلظتی کمتر از آب زهکشی داشته و یا در مسیر زهکشی نمک‌های حاصله از هوازدگی و انحلال به صورت محلول به زه‌آب زهکشی اضافه گردد. برای مثال در بسیاری از رودخانه‌های حوضه‌های آبریز جنوب کشور مقادیر زیادی از نمک قابل حل در لایه‌های خاک وجود دارد. در این مکان به حداقل رساندن میزان آبشویی مقدار قابل توجهی از بار نمک رودخانه‌ها در پایین دست پروژه‌های آبیاری را کاهش می‌دهد. زیرا امکان انتقال املاح نمک از لایه‌های خاک‌های شور به رودخانه‌ها کاهش می‌یابد.

۷-۳-۲- جمع‌آوری، جداسازی و استفاده مجدد از آب زهکشی در آبیاری

هدف نهایی مدیریت آبیاری باید به حداقل رساندن مقدار استحصال آب از پروژه‌های دارای کاربرد آب با کیفیت خوب و حداکثر نمودن بهره‌وری این آب استحصالی در عمل آبیاری باشد، به نحوی که حتی‌الامکان به مصرف عمل تعرق (و نهایتاً تولید بیوماس یا توده گیاهی) رسیده و تلفات این آب و تخلیه آن به صورت زهکشی به حداقل ممکن برسد. در جهت این هدف تا جایی که آب زهکشی از یک مزرعه یا یک پروژه هنوز هم برای استفاده در تعرق یک گیاه مفید باشد (یعنی گیاهی که مقاومت کافی به شوری دارد قادر باشد آب مورد نیاز جهت تعرق خود را با سرعت کافی از محلول شور جدا نماید) بایـد قبـل از دفـع نهایی، مجدداً برای آبیاری مورد استفاده قرار گیرد (رودن، ۱۹۷۷، ۱۹۸٤b، ۱۹۸٤c، ۱۹۸۹). به این ترتیب میزان آب زهکشی و خطر شورکنندگی آن کاهش خواهد یافت و عملاً منجر به افزایش تأمین آب آبیاری می‌گردد. همچنین این امر سبب کاهش ماندابی شدن و نیز کاهش مقدار کلی تخریب خاک ناشی از شوری در منطقه مربوطه خواهد گردید.

استفاده از آب شور برای آبیاری از طریق این راهکار می‌تواند در حالت‌های متفاوت و متعددی عملی باشد. یکی از این حالات وضعیتی است که آب با کیفیت بسیار عالی در دوره اولیه رشد در دسترس بوده، لیکن تأمین آب برای رفع نیاز گیاه

در کل دوره رشد یا خیلی گران تمام می‌شود و یا محدودیت زیادی دارد. هنگامی که هزینه‌های تأمین آب با کیفیت عالی عامل بازدارنده باشد می‌توان گیاهان مقاوم و نسبتاً مقاوم به شوری را با استفاده از آب شور زهکشی یا آب شور زیرزمینی به خصوص در مرحله آخر رشد آبیاری نمود. این امر حتی اگر منجر به کاهش میزان محصول نسبت به محصول حداکثر در شرایط آبیاری با آب تازه (شیرین) شود توجیه اقتصادی دارد. استفاده از آب شور برای آبیاری، مقدار آب با کیفیت عالی مورد نیاز برای رشد گیاهان را کاهش داده و در واقع سبب گسترش و توسعه منبع آب برای تولید محصول می‌گردد.

حالت دیگری که موجب چنین استفاده مجددی می‌گردد هنگامی است که دفع نهایی زه‌آب یا امکان پایین انداختن سطح ایستابی بسیار کم عمق به لحاظ فیزیکی، زیست محیطی، اجتماعی و یا عوامل سیاسی عملی نباشد. استفاده مجدد از آب زهکشی در آبیاری در چنین وضعیتی حجم زه‌آب برای دفع یا تصفیه و هزینه‌های دیگر را کاهش می‌دهد، (رودز، ۱۹۷۷). به علاوه کاهش حجم زهکشی، بار نمک آب دریافتی را نیز کمتر می‌نماید (رودز،b ۱۹۸٤).

توجیه استفاده درازمدت از آب زهکشی برای آبیاری به منظور کاهش حجم زهکشی در یک پروژه یا در مقیاس منطقه‌ای، احتمالاً نسبت به مقیاس یک مزرعه بیشتر است (گراتن و رودز، ۱۹۹۰، ۱۹۹٦). مدیریت استفاده مجدد از آب زهکشی برای برخی مناطق الزامی است زیرا از افزایش تدریجی غلظت آب زهکشی در اثر توالی مصرف از یک منبع آب مشخص برای یک محدوده اراضی معین (یعنی در یک حلقه بسته) جلوگیری می‌نماید. با مدیریت منطقه‌ای می‌توان بخشی از اراضی هر منطقه را برای آبیاری از طریق استفاده مجدد از آب زهکشی اختصاص داده و باقیمانده اراضی به ویژه آن دسته از اراضی که بالادست شیب قرار دارند را طبق معمول فقط با آب دارای کیفیت خوب آبیاری نمود. آب زهکشی ثانویه حاصل از اراضی که از آب زهکشی اولیه استفاده کرده‌اند، به اراضی دیگری که به استفاده مجدد اختصاص یافته و در آنها گیاهان بسیار مقاوم به شوری کشت می‌شوند وارد

شده و یا به حوضچه‌های تبخیری موضعی و یا تأسیسات تصفیه تخلیه می‌گردد (گراتن و رودز، ۱۹۹۰ – گراتن و همکاران، ۱۹۸۸ – اوستر و همکاران، ۱۹۹۸).

به منظور حصول موفقیت در طرح و اجرای برنامه چرخشی و راهبرد تناوب دوگانه آبیاری با آب‌های شور و زهکشی، می‌بایست مسایل فنی و اقتصادی و ملاحظات زیست محیطی به ویژه کنترل تخریب خاک نیز مورد توجه قرار گیرند. (گراتن و رودز، ۱۹۹۰، ۱۹۹٦).

۷-۳-۳- اجتناب از مخلوط کردن آب‌های با کیفیت مختلف برای آبیاری

هدف نهایی از استفاده مجدد از آب زهکشی و حفظ کیفیت آب فراهم آوردن امکان حداکثر بهره‌وری عملی کل منبع تأمین آب یعنی آب زهکشی و آب تازه (شیرین) است.

در مورد استفاده از آب شور در آبیاری و انتخاب سیاست‌ها و عملیات مناسب در راستای مدیریت زهکشی و حفظ کیفیت آب، باید توجه داشت که تمامی حجم یک منبع آب شور نمی‌تواند در تولید محصول مفید واقع شود. هر چه شوری آب بیشتر باشد مصرف آن قبل از اینکه محدودیتی برای رشد به وجود آورد کمتر می‌شود. اصولاً گیاهان در فرآیند تعرق، تقریباً آب خالص را از محلول شور موجود در منطقه ریشه جدا می‌کنند. آب خالص به درون اتمسفر تعرق می‌شود و نمک‌ها در بقیه آب مصرف نشده در خاک تجمع پیدا می‌کنند. این آب نهایتاً آب زهکشی را تشکیل می‌دهد. هرگاه در شرایط اقلیمی و مدیریتی معین، غلظت نمک آب موجود در خاک از حد مشخصی تجاوز کند گیاه رشد مناسب نخواهد داشت (برن اشتاین، ۱۹۷۵). این امر در مورد شورزیست‌ها (هالوفیت‌ها) نیز واقعیت دارد (میاموتو و همکاران، ۱۹۹٦).[1] بنابراین، واضح است که چنانچه آب محتوی نمک باشد تمام آب آن منبع نمی‌تواند به وسیله گیاه مصرف شود. عمل اختلاط یا وارد کردن آب‌های با شوری بیش از حد در منابع آب با کیفیت خوب باید فقط هنگامی صورت پذیرد که

1- Miyamoto et al., 1996

چگونگی تأثیر آن روی حجم آب قابل مصرف (قابل استفاده) در حالت منابع مجزا و مرکب مورد بررسی قرار گرفته باشد.

برای بیان این نتیجه‌گیری در اینجا مثال ساده‌ای ارائه می‌گردد. در این مثال یک مخزن آب با حجم معین فرض شده است. از آب این مخزن برای آبیاری گیاهی با عمق مشخص ریشه که در خاکی با فرض مقدار رطوبت معادل ظرفیت زراعی در ابتدا و انتهای فصل کشت شده است استفاده می‌گردد. بخشی از این آب به صورت تعرق توسط گیاه در تولید توده گیاهی نقش دارد (هدف آبیاری)، بخشی دیگر نیز که به صورت زهکشی از خاک عبور می‌کند به مخزن برمی‌گردد (در این مثال از تبخیر صرفنظر شده است). چرخه آبیاری و زهکشی آنقدر تکرار می‌گردد تا غلظت نمک آب بیش از حد مجاز برای رشد گیاه شود (منظور آب مصرفی یا تعرقی برای گیاه است). در حالت ۱ مخزن (که در سمت چپ شکل شماره (۷-۵) قبل از شروع مصرف نشان داده شده است) در ابتدا پر از آب با غلظت ۵۰۰ پی.پی.ام می‌باشد. از این آب برای محصول لوبیا که مقاومت حداکثر آن به شوری ۱۵۰۰ پی.پی.ام فرض شده استفاده گردیده است. وقتی که ٦٧ درصد از این آب در تعرق مصرف شود غلظت آن به ۱۵۰۰ پی.پی.ام افزایش خواهد یافت. لذا مصرف بیشتر (استفاده مفید) از آن برای آبیاری محصول لوبیا یا سایر محصولات با همان درجه مقاومت به شوری و کمتر از آن، عملی نخواهد بود. در چنین حالتی حجم آب قابل استفاده در ۱۰۰ واحد از محلول شور با غلظت ۵۰۰ پی.پی.ام برابر ٦٧ واحد است. ۳۳ واحد باقیمانده (که در سمت راست شکل شماره (۷-٦) نشان داده شده است) برای محصول لوبیا فاقد ارزش بوده لیکن ممکن است برای گیاه دیگری با مقاومت شوری بیشتر نظیر گندم قابل استفاده باشد. بنابراین آب زهکشی شور مذکور (که در سمت چپ شکل شماره (۷-٦) در داخل مخزن نشان داده شده است) می‌تواند برای آبیاری گندم در یک سیستم بسته مشابه مورد استفاده قرار گیرد. این موضوع در حالت ۲ در شکل شماره (۷-٦) نشان داده شده است. با فرض اینکه حداکثر مقاومت به شوری گندم معادل ۷۵۰۰ پی.پی.ام باشد، می‌توان ۸۰ درصد این

آب را قبل از اینکه بقیه محلول به این غلظت برسد مصرف نمود. در این حال حجم اصلی (۱۰۰ واحد با شوری ۵۰۰ پی.پی.ام) آب به ٦/٦ واحد کاهش یافته است. در این فرآیند ۹۳/٤ درصد از آب به توده گیاهی (بیوماس) لوبیا و گندم تبدیل گردیده و تنها ٦/٦ واحد باید دفع گردد. (واقعیت این است که مقداری از این آب نیز می‌تواند به استفاده گیاهان شورزیست برسد). برای مقایسه، به محاسبه قابلیت استفاده آب حاصل از اختلاط ٦/٦ واحد با شوری ٦٥٠٠ پی.پی.ام زهکشی شده از آبیاری گندم (نتیجه حاصله در حالت ۲) و ۱۰۰ واحد آب با شوری ۵۰۰ پی.پی.ام (ارائه شده در حالت ۱) مناسب برای رشد حبوبات، توجه کنید. این امر در حالت ۳ در شکل شماره (۷-۷) توضیح داده شده است. مخزنی که در سمت چپ شکل شماره ۷-۵ قبل از استفاده حاوی ۱۰٦/٦ واحد آب با شوری ۹۳۳ پی.پی.ام (میانگین وزنی ٦/٦ واحد با شوری ۷۵۰۰ پی.پی.ام و ۱۰۰ واحد با شوری ۵۰۰ پی.پی.ام) بوده است، پس از اینکه تنها ٤۰/۳ واحد از این آب مخلوط شده مصرف گردید، غلظت آن، همچنانکه در سمت راست شکل شماره (۷-۷) نشان داده شده، برای تداوم رشد از حد مجاز تجاوز می‌کند. بنابراین، ملاحظه می‌گردد که ۱۰۰ واحد آب با شوری ۵۰۰ پی.پی.ام وقتی که به تنهایی مصرف شده ٦۷ واحد توده گیاهی تولید کرده است (به شکل شماره (۷-۵) مراجعه شود). هنگامی که با مقدار نسبتاً کمی از آب زهکشی که شوری آن فراتر از حد قابل قبول برای محصول لوبیا می‌باشد مخلوط گردد، قابلیت استفاده از آن کاهش می‌یابد (به شکل شماره (۷-۷) مراجعه شود). بهره‌برداری از این آب مخلوط منجر به از دست دادن ۲۷ واحد (٤۰/۳-٦۷) از پتانسیل مصرف مفید آن می‌گردد، علیرغم این که حجم آن افزایش پیدا کرده، (۱۰٦/٦ واحد به جای ۱۰۰ واحد) و غلظت آن براساس استانداردهای آبیاری در حد کیفیت قابل قبول (۹۳۳ پی.پی.ام) بوده است. اصول مربوط به مزایا و معایب بالقوه استفاده مجدد و اختلاط در این مثال‌های ساده به وضوح روشن گردیده‌اند.

مورد شماره ١ (حالت ١)

آب ٥٠٠ پی. پی. ام

محصول لوبیا، ١٥٠٠ پی. پی. ام (مقاومت به شوری)

٦٧ واحد مصرف	١٠٠ واحد
٣٣ در ١٥٠٠	٥٠٠ پی. پی. ام

شکل شماره ٧-٥- نمایش شماتیک مقدار آب در دسترس برای رشد محصول لوبیا در محلول نمک ٥٠٠ پی. پی. ام: مورد (حالت) شماره ١

مورد شماره ٢ (حالت ٢)

آب ١٥٠٠ پی. پی. ام

محصول گندم، ٧٥٠٠ پی. پی. ام (مقاومت به شوری)

٨٠ درصد مصرف شده	٣٣ واحد
٦/٦ در ٧٥٠٠	١٥٠٠ پی. پی. ام

٨٠٪ زه‌آب لوبیا مصرف شده و ٣٣ واحد آب به ٦/٦ واحد کاهش یافت.

(حجم زه‌آب کاهش یافت)

(استفاده از منبع آب افزایش یافت)

شکل شماره ٧-٦- نمایش شماتیک مقدار آب در دسترس برای رشد محصول گندم درمحلول نمکی ١٥٠٠ پی. پی. ام رها شده از محصول لوبیا: مورد (حالت) شماره ٢

مورد شماره ۳ (حالت ۳)

مخلوط ٦/٦ واحد در ۷۵۰۰ پی. پی. ام با ۱۰۰ واحد در ۵۰۰ پی. پی. ام محصول لوبیا: ۱۵۰۰ پی. پی. ام

۴۰/۳ واحد مصرف شده	۱۰٦/٦ واحد
٦٦/۳ در ۱۵۰۰ پی. پی. ام	۹۳۳ پی. پی. ام

(آب بیشتر و با کیفیت قابل قبول)

(ولی از دست دادن ۲۷ واحد آب قابل استفاده برای رشد لوبیا به لحاظ اختلاط)

شکل شماره ۷-۷- نمایش شماتیک مقدار آب در دسترس برای رشد محصول لوبیار در محلول شور ۹۳۳ پی. پی. ام حاصل از اختلاط ۱۰۰ واحد محلول ۵۰۰ پی. پی. ام با ٦/٦ واحد محلول ۷۵۰۰ پی. پی. ام: مورد (حالت) شماره ۳

اصولی که در این مثال ساده مطرح گردید می‌تواند درارتباط با رودخانه‌هایی که آب آنها در بالادست جهت آبیاری مورد استفاده قرار گرفته و زه‌آب‌های زهکشی دشت به آن برمی‌گردد مصداق پیدا کند. به عبارت دیگر با جداسازی زه‌آب زهکشی از جریان طبیعی رودخانه کارآمدی مجموع آب رودخانه و زه‌آب زهکشی نسبت به حالت ۳، اختلاط این آب‌ها افزایش می‌یابد. تجارب میدانی در ایران و کشورهای دیگر این امر را تأیید می‌نماید (مینهاس و همکاران، ۱۹۸۹). بنابراین به طور کلی اختلاط آب‌هایی که شوری آن برای مصارف خاصی زیاد باشد با منابع آب با کیفیت خوب منجر به تأمین حجم بالقوهٔ آب مصرفی مخلوط شده می‌شود (که فایده آن پایین‌تر از فایده بخش آب با کیفیت خوب به تنهایی می‌باشد). میزان این کاهش کیفیت در آب قابل استفاده، به حجم و غلظت آب با شوری کم (آب دریافتی) و آب شور دفعی (زهکشی) و همچنین به مقاومت گیاهان نسبت به شوری، که از طریق آبیاری تولید می‌شوند بستگی دارد. بنابراین، ارزش هر آب اختلاطی باید به صورت مورد به مورد ارزیابی گردد. در برخی موارد ممکن است اختلاط آب و پذیرش واقعیت از کاهش قابلیت استفاده از آن در تولید بالقوه محصول، در مقابل هزینه‌های بسیار بالای دفع

آب‌های زاید اقتصادی‌تر باشد. به هرحال باید توجه داشت که، اگر آب زهکشی (دفعی) برای گیاه مورد نظر ما بیش از حد شور است، در اثر اختلاط آن با آبی با شوری کم نه تنها هیچگونه استفاده مفید اضافه‌ای به وجود نخواهد آمد، بلکه از مقدار فایده‌رسانی خود آب با شوری کم به تنهایی نیز کاسته می‌گردد.

گاهی آب‌های زهکشی با استفاده از آب‌های با کیفیت خوب عمداً رقیق می‌شوند تا به استاندارد تخلیه معینی رسیده و سپس به منابع آب با کیفیت خوب برگردند. اما همچنان که در مطالعات فوق‌الذکر مشاهده می‌گردد حتی وقتی که حجم نسبتاً کمی از آب با شوری خیلی زیاد در یک منبع آب بزرگتر با کیفیت خوب تداخل می‌کند نتیجه نهایی این است که بخشی از این آب مخلوط شده برای تعرق محصولات حساس به شوری غیرقابل استفاده می‌گردد. بنابراین نتیجه‌گیری می‌شود که اختلاط و یا رقیق کردن آب‌های زهکشی با آب‌های با کیفیت خوب به منظور افزایش منابع آب و یا نیل به حد استاندارد تخلیه، می‌تواند در برخی شرایط نامناسب باشد. اگرچه غلظت آب اختلاطی ممکن است آنقدر پایین باشد که در تطبیق با استانداردهای قابل قبول کافی باشد، معذالک، ممکن است قابلیت استفاده منبع آب با کیفیت خوب در اثر فرآیند اختلاط، برای محصولات حساس به شوری (یا سایر بهره‌گیری‌های آبی حساس به شوری) کاهش پیدا کند. بنابر این با تفکیک آب‌های شور و شیرین معمولاً می‌توان محصول بیشتری از کل منبع آب به دست آورد. در مورد جدا نگهداشتن آب‌های شور زهکشی از منابع آب با کیفیت خوب به خصوص هنگامی که آب‌های اخیر باید برای آبیاری محصولات حساس به شوری به کار روند باید توجهات جدی مبذول داشت. با جایگزینی آب‌های شور زهکشی به جای آب با کیفیت خوب در آبیاری محصول واقع در تناوب در مرحله رشد پس از جوانه‌زدن استفاده مؤثرتری از منابع آب صورت می‌گیرد.

در یک جمع‌بندی کلی می‌توان اظهار داشت که عملی‌ترین و اساسی‌ترین راهبرد مناسب برای کنترل شوری منابع آب مرتبط با کشت آبی و افزایش مقدار مؤثر تأمین آب برای تولید محصول (یا سایر مصارفی که شوری در آن یک محدودیت است)، جداسازی آب‌های زهکشی قبل از برگشت آنها به رودخانه یا سایر منابع آبی کم نمک

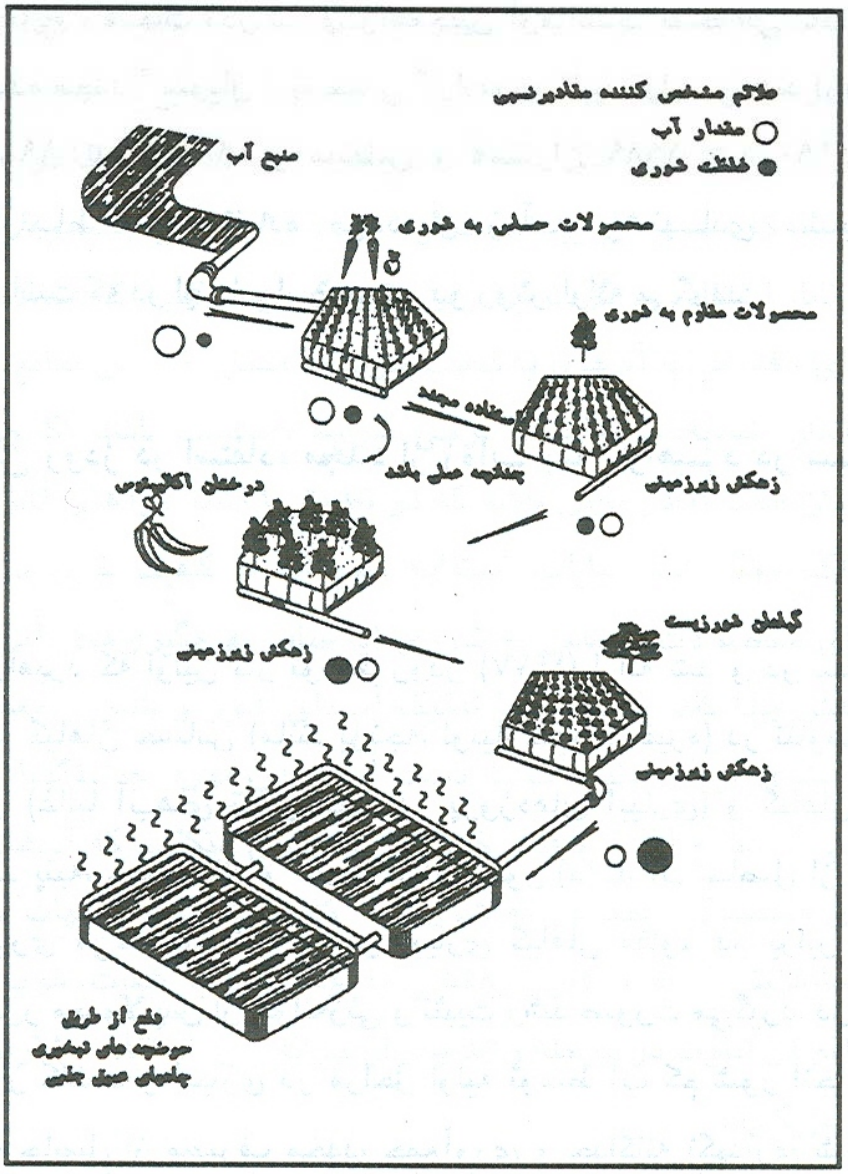
می‌باشد. سپس استفاده مستقیم این آب‌ها در آبیاری (از طریق جایگزینی آنها با آب کم‌نمک در برخی مقاطع از فصل آبیاری) برای تولید گیاهان خاص مقاوم به شوری در تناوب زراعی، یعنی راهبرد "سریال / چرخشی"، می‌باشد (رودز، a,b,c ۱۹۸٤، ۱۹۸۸). این راهبرد منجر به صرفه‌جویی آب‌های برگشتی زهکشی می‌گردد (رودز c ۱۹۸٤، ۱۹۸۹). همچنین مقدار آب تخصیصی به نیازهای آبیاری را کاهش خواهد داد. نتایج مطالعات مدل‌سازی و همچنین آزمایشات صحرایی اعتبار و امکان راهبرد استفاده مجدد " سریال / چرخشی " را مورد تأیید قرار می‌دهند (رودز ۱۹۷۷، c ۱۹۸٤، ۱۹۸۸، a,b,c ۱۹۸۹ و مینهاس و همکاران ۱۹۸۹، a,b ۱۹۹۰). شانون[1] نیز در ارتباط با استفاده مجدد از زه‌آب، پیشنهادی مشابه رودز مطرح نموده است که در اینجا چارچوب هر دو روش ارائه می‌گردد:

الف) روش رودز در استفاده مجدد از زه‌آب یا " راهبرد در سری قرار دادن"

در این راهبرد که اولین بار توسط رودز (۱۹۷۷) ارائه شد و در سال‌های بعد تکمیل گردید، گیاهان حساس (مانند یونجه، لوبیا، کاهو و غیره) در تناوب زراعی با آب کم شور (غالباً آب‌های تأمین شده در پروژه‌های آبیاری) و گیاهان مقاوم به شوری (مانند پنبه، چغندر قند و غیره) با آب شور (مانند آب حاصل از زهکش در پروژه) آبیاری می‌شوند. تغییر روش آبیاری گیاهان مقاوم در برابر شوری از شیرین به شور معمولاً پس از جوانه‌زنی و تثبیت رشد صورت می‌گیرد. در این موارد آبیاری قبل از کاشت و آبیاری در مراحل اولیه توسط آب کم شور انجام می‌گیرد. زه‌آب ثانویه حاصل از مصرف مجدد، جمع‌آوری و جداگانه نگهداری شده و پشت سر هم (به طور سری) به تدریج برای گیاهانی که مقاومت آنها به شوری بیشتر است (در نهایت گیاهان شورزیست) بکار برده می‌شود. زه‌آب نهایی حاصل از زهکش با شوری فوق‌العاده زیاد دارد غیرقابل استفاده بوده و به استخرهای تبخیر هدایت

1- Shannon

می‌شود. اگر آب شور خروجی از زهکش‌ها با آب‌های با کیفیت خوب مخلوط شود عملاً از کارآیی آب کاسته می‌شود لذا جلوگیری از انتقال آب شور خروجی از زهکش‌ها به منابع آب زیرزمینی علاوه براثرات مثبت زیست محیطی به کارآیی بیشتر آب منجر می‌شود. شکل (۷-۸) تصویری نمایشی از طرح رودز می‌باشد.



شکل ۷-۸- مفهوم استفاده مجدد از زه‌آب در آبیاری (Rhoades)

ب- روش شانون در استفاده مجدد از زه‌آب

شانون و همکاران (۱۹۸۷) یک سیستم مرکب از کشاورزی، جنگلبانی و تبخیرکننده‌های خورشیدی را بعنوان یک راهبرد استفاده مجدد از آب آبیاری ارائه دادند. این روش بسیار شبیه استفاده مجدد از آب زهکشی است که توسط رودز (۱۹۹۲) ارائه شده است. اما، در این روش ترکیب جنگلی نیز در مجموعه وارد می‌شود. تصویر نمایشی از طرح مذکـور در شکل (۷-۹) آمده است. این روش در کالیفرنیا توسعه و آزمایش شده است و دو هدف را دنبال می‌کند:

- استفاده از زه‌آب برای تولید اقتصادی
- کاهش زه‌آب حاصل از مزارع

مزایا و معایب کلی راهبرد سریال/چرخشی را به شرح زیر می‌توان دسته‌بندی نمود:

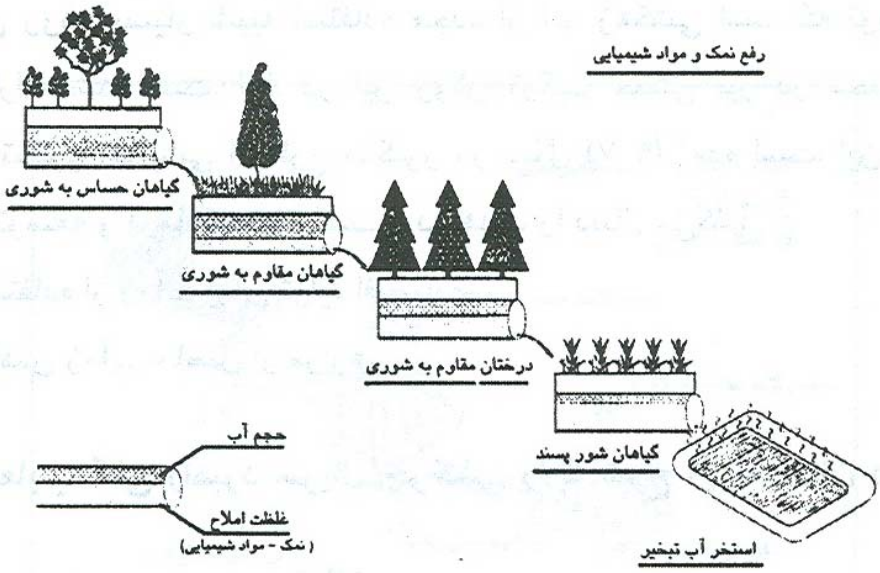
الف) مزایا

- شوری خاک در طول زمان به خصوص در خاک سطحی و در دوره جوانه‌زنی گیاه پایین نگه داشته می‌شود.
- گیاهان حساس به شوری نیز می‌توانند در این مجموعه تولید گردند.
- سیستم‌های آبیاری و زهکشی متداول قابل استفاده هستند.
- زهکشی به صورت سریال (متوالی) در جهت تغلیظ زه‌آب هم‌زمان با کاهش حجم آن انجام گرفته و در طی این فرآیند منافعی نیز در تولید غذا و بیوماس (توده گیاهی) خواهد داشت.

ب) معایب

- آب زهکشی باید جمع‌آوری شده و از منبع آب اولیه جدا باشد.
- سدیم و بر جذب شده که در زمان استفاده مجدد از آب زهکشی در لایه سطحی خاک جمع گردیده، باید در هنگام آبیاری با آب تازه خارج شود.

برای حفظ قابلیت خاک‌ورزی مزرعه در ارتباط با کاربرد آب کم نمک درخاکی که مقدار سدیم قابل تبادل زیاد دارد، به اعمال مدیریت ویژه‌ای نیاز است.



شکل ۷-۹- استفاده مجدد از زه‌آب در آبیاری (Shannon)

کلام آخر

کشور ایران با وجود بیش از ۱٦۰ میلیون هکتار وسعت و حدود ۲۰ میلیون هکتار اراضی قابل کشت و وجود سالانه ۱٤۰ میلیارد متر مکعب منابع آب تجدیدشونده، همواره از کمبود تولیدات کشاورزی رنج برده و هر ساله بخش مهمی از منابع ارزی کشور مصروف ورود محصولات اولیه یا فراوری شده کشاورزی نظیر غلات، شکر، روغن و نظایر آن می گردد. در حالی که قابلیت های اشاره شده اگر با برنامه‌ریزی، سرمایه‌گذاری و مدیریت صحیح و کارآمد درخدمت تولید قرار گیرند میزان تولیدات زراعی و باغی کشور را می توان از ٦۰ میلیون تن محصول فعلی به سه برابر یعنی تا حدود ۱۸۰ میلیون تن در سال افزایش داد. بدین ترتیب ایران می‌تواند با ایجاد تحرک در بخش کشاورزی، به عنوان یک کشور صادر کننده عمده محصولات کشاورزی در منطقه مطرح گردد.

بدون شک ساماندهی منابع آبی و ارتقای مدیریت آبیاری نقشی اساسی در توسعه تولیدات کشاورزی در کشور خواهد داشت. بر طبق برآوردهای اولیه کمیت و کیفیت منابع آب کشور، حدود ۱۰ درصد از منابع آب تجدید پذیر کشور را منابع آبهای شور و لب شور تشکیل می دهد، ضمن اینکه دریاچه‌های آب شور داخلی و آبهای شور شمال و جنوب کشور نیز قابلیت‌های آبی آینده کشور محسوب می‌شوند. به این مجموعه باید منابع آبهای برگشتی از کشاورزی را اضافه کرد که به تعبیری مقدار آن حدود ۱۵ درصد منابع آبهای تجدیدشونده کشور بر آورد می گردد. این منابع آبی نیز به تدریج در اثر گردش در چرخه مصرف کیفیت خود را از دست داده و شوری آنها افزایش می یابد، به ویژه این پدیده در آبهای زهکشی اراضی حاوی خاک‌های شور با شدت بیشتری صورت می‌گیرد.

با توجه به سهم قابل ملاحظه منابع آبهای شور و لب شور از کل منابع آب قابل دسترسی کشور، استفاده از این منابع در توسعه اراضی آبی اجتناب‌ناپذیر است و همچنین در جهت کنترل شوری و کاهش میزان دفع آبهای شور به محیط زیست کاربرد آب شور نقش مؤثری خواهد داشت. از آنجایی که کاربرد ناصحیح و غیر

علمی این آبها در بخش کشاورزی می تواند صدمات زیست محیطی جبران‌ناپذیری وارد آورده و به شور و زهدار شدن ثانویه اراضی منجر گردد، لذا مدیریت استفاده از این آبهای با کیفیت پایین و بطور کلی مدیریت آبیاری در این اراضی به توجه خاص نیاز دارد.

در این راستا تدوین کتاب راهنما و دستورالعمل‌های مناسب و بکارگیری این اصول از طرف کاربران آب و همچنین پایش مستمر وضعیت شوری آب وخاک از الزامات این مدیریت است.

اگر چه بیش از نیم قرن از تألیفات و انتشارات مرتبط با مسائل آب و خاک شور در دنیا می‌گذرد ولی در آخرین دهه قرن بیستم تحولات چشمگیری در مفاهیم کاربردی آب شور و اصلاح خاک‌های شور و بطور کلی کشاورزی در شرایط آب و خاک شور پدید آمد. این نگرش جدید ناشی از بررسی روش های سنتی کاربرد آب شور و انجام تحقیقات جدیدی در این زمینه بوده است. بطوری که حتی امروزه بحث استفاده مستقیم از آب دریا برای تولیدات گیاهانی چون سالیکورینا و اتریپلکس به صورت اقتصادی و حتی تولید زراعت متعارفی چون پنبه و نظایر آن طرفداران زیادی پیدا کرده است. در حال حاضر در کشورهای مختلف جهان در زمینه‌های گوناگون کاربرد آبهای شور تحقیقات فراوانی صورت می گیرد و این دانش در حال تحول و دگرگونی است.

کتاب حاضر تلاشی در جهت جمع آوری اطلاعات به روز و مرتبط با مبانی و تعاریف شوری، محدودیت های تولید کشاورزی در محیط‌های آب وخاک شور، وضعیت کمی و کیفی این منابع در ایران و جهان، طبقه‌بندی آبهای شور به لحاظ قابلیت مصرف آن در کشاورزی و بالاخره چگونگی و مدیریت استفاده پایدار از این منابع می‌باشد. امید است که این کتاب بتواند به عنوان راهنمای اولیه برای کاربران آب شور مفید واقع شود. اظهار نظر و نقد کارشناسی کمک موثری به تکمیل این نشریه در چاپ بعدی آن خواهد بود.

منابع فارسی:

پذیرا، ابراهیم. ۱۳٦۹. مطالعات اصلاح و بهسازی خاک و اراضی با تأکید بر مواد اصلاح فیزیکوشیمیایی خاک‌های شور و قلیائی دشت هندیجان. گزارش مؤسسه خاک‌شناسی و حاصلخیزی خاک تهران

جواهری، پرهام. ۱۳۵۵. غلظت نهائی خاک‌های شسته شده آهوچر (مرودشت فارس). نشریه فنی شماره ٤۹٦ مؤسسه خاک‌شناسی و حاصلخیزی خاک تهران.

جواهری، پرهام. ۱۳۵۱. تأثیر کیفیت و کمیت آب آبیاری در شستشوی خاک ایستگاه آهوچر (مرودشت فارس) نشریه فنی شماره ۳۱٤ مؤسسه خاک‌شناسی و حاصلخیزی خاک تهران

درودی، محمدسعید. ۱۳۷۹. اثر شوری بر عملکرد و جذب عناصر غذائی در گندم. رسالۀ دکترا. واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی. تهران. ص ۲۳۵.

درودی، محمدسعید و حمید سیادت. ۱۳۷۸. تأثیر شوری آب آبیاری، کودهای سولفات پتاسیم و اوره بر عملکرد و غلظت عناصر غذائی در گندم. مجله علمی پژوهشی خاک و آب. جلد ۱۲ شماره ٦. مؤسسه تحقیقات خاک و آب تهران. ۱۹۷-۲۰۸.

زاهدی، علی‌اصغر. ۱۳۷۷. بررسی تأثیر آب شور در عملکرد ارقام سورگم. مجله آب و خاک. جلد ۱۲ شماره ۵ ص ۵.

سیادت، حمید و محمدسعید درودی. ۱۳۷۷. بررسی رشد و تولید گندم در شرایط شوری در مزارع کشاورزی. نشریه خاک و آب. جلد ۱۲. شماره ٤. ص ۲٤-۱۵.

سالمی پاریزی، اعظم. ۱۳۷۵، اثرات تنش شوری و خشکی بر روی رشد و ترکیب شیمیائی نهال‌های پسته. سازمان پژوهش‌های علمی و صنفی ایران، مرکز کرمان.

سازمان برنامه و بودجه (مرکز آمار ایران). ١٣٦٨ نگرشی به جمعیت جهان.

سازمان برنامه و بودجه (مرکز آمار ایران). ۱۳۷۵. سرشماری عمومی نفوس و مسکن. نتایج تفصیلی کشور (سال‌های ١٣٤٥– ۱۳۷۵).

شرکت مهندسی مشاور طوس آب، ۱۳۷۰. بررسی نیاز آبی شرب، کشاورزی و صنعت. جلد پنجم. مطالعات طرح جامع تأمین آب مشهد.

شرکت مهندسی مشاور طوس آب. ۱۳۷۷. گزارشات موردی منتشر نشده.

شرکت مهندسی مشاور طوس آب. ۱۳۷۹. گزارشات موردی منتشر نشده.

شرکت مهندسین مشاور جاماب. ۱۳۷۷. توان منابع آب زیرزمینی شور در آبخوان‌های کشور. (گزارش منتشر نشده).

شیعتی، کریم. ١٣٧٤. چگونگی رفتار و مدیریت مخازن شور و لب‌شور در ایران. مجموعه مقالات کنفرانس منطقه‌ای مدیریت منابع آب. اصفهان. ص ٧٣–٦١.

صنعتی، کامران. ۱۳۷۸. بررسی مقاومت به شوری آب آبیاری بر روی سه پسته پایه بادامی زرندی، سرخس و آتلانتیکا. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی. تهران. ص ١٤٧.

غفاری شیروان، جعفر. ۱۳۷۷. مسائل آب و فاضلاب در شرایط جدید کشور. نشریه آب و محیط زیست. شماره ۲۹.

فتحی، مؤمن. ۱۳۷۵ "چشم‌انداز غذا در جهان با نگرش کلان" نشریه اقتصاد کشاورزی و توسعه. شماره ١٤.

فن سنجش از دور در آبیاری و زهکشی. ۱۳۷۸. ترجمه و تدوین. وزارت نیرو. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. نشریه شماره ۲۵. ص ۲۵۰.

فیضی، محمد. ۱۳۷۲. بررسی کیفیت و کمیت آب در شوری‌زدایی خاک‌های منطقه رودشت اصفهان. مجموعه مقالات خاک و آب. مؤسسه تحقیقات خاک و آب. جلد ۸. شماره ۱. تهران.

قدرت‌نما، قهرمان. ۱۳۷۷. منابع، مصارف و نیازهای آبی در ایران: حال و آینده. فصلنامه آب و توسعه. شماره‌های ۱۸ و ۱۹.

مهاجر میلانی، پرویز و ابوالقاسم توسلی. ۱۳۷۰. بررسی امکان اصلاح و بهسازی خاک‌های شور و قلیا در منطقه جنوب سمنان. مجموعه مقالات خاک و آب. جلد ٦. شماره ۱. مؤسسه تحقیقات خاک و آب تهران.

مهاجر میلانی، پرویز و پرهام جواهری. ۱۳۷۷. آب مورد نیاز شستشوی خاک‌های شور ایران. مؤسسه تحقیقات خاک و آب. نشر آموزش کشاورزی. کرج. ص ۱۰۲.

مهاجر میلانی، پرویز، رضا وکیل وسعید سعادت. ۱۳۷۸. تغذیه گندم در شرایط شوری استان قم. مجله علمی پژوهشی خاک و آب. جلد ۱۲. شماره ٦. مؤسسه تحقیقات خاک و آب تهران. ۱۹٦- ۱۸۷.

نی‌ریزی، سعید. ۱۳۷۷. نگرشی بر استفاده از آب‌های شور و لب‌شور در کشت آبی. مجموعه مقالات نهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.

نی‌ریزی، سعید. ۱۳۷۸. استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده، راهکار تأمین منابع آب. مجله آب و محیط زیست. شماره ۳٤. تیرماه ۱۳۷۸.

ناصری، فرشته و عوض کوچکی. ۱۳۷٤. نوآوری‌های کشاورزی در قرون اولیه اسلام. ترجمه بنیاد پژوهش‌های اسلامی آستان قدس رضوی. ص ۱٤۹-۱٤۷.

واحدی، ابوالقاسم و ابوالقاسم توسلی. ۱۳۷٤. اثر شوری آب آبیاری در محصول گندم. مرکز تحقیقات کشاورزی فارس. بخش تحقیقات خاک و آب. مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.

واحدی، ابوالقاسم و ابوالقاسم توسلی. ۱۳۷۰. بررسی روش‌های مختلف استفاده از آب‌های شور در تولید گندم. گزارش مرکز تحقیقات کشاورزی فارس. مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.

وزارت کشاورزی. معاونت برنامه و بودجه. اداره کل آمار و اطلاعات. ۱۳۷۷. غلات در آمار ۱۳٦٦- ۱۳۷٦.

وزارت نیرو. دفتر برنامه‌ریزی و مطالعات منابع آب. شهریور ۱۳٦۱. اطلس منابع آب ایران.

هاشمی‌نیا، سیدمجید. عوض کوچکی و نوذر قهرمان. ۱۳۷٦. بهره‌برداری از آب‌های شور در کشاورزی پایدار. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

هدایت، نجف. ۱۳۷۵. استفاده از آب‌های شور برای تولید محصولات کشاورزی. مجله آب، خاک، ماشین. شماره‌های ۱٦، ۱۹، ۲۰ و ۲۱.

همشهری (روزنامه). ۱۳۷۷، جمعیت جهان در ۱۵۰ سال آینده. شماره ۱٦۵۱. سال ششم. مهرماه ۱۳۷۷.

یزدانی، هوشنگ و ابوالقاسم توسلی. ۱۳۷۱. اثر شوری آب آبیاری روی جوانه زدن بذر یونجه. مجله علمی خاک و آب (مجموعه مقالات). مؤسسه تحقیقات خاک و آب. جلد ۷. شماره ۱.

منابع انگلیسی

Aart, R.van, and J.L.Oosterkamp. 1968. Interim report on soil reclamation in Iran. Soil Inst. of Iran. Pub. 203. Tehran.

Abedi, M.J. and Talibudeen. 1974. The calcareous soils of Azarbaijan (I). Catena development related to the distribution and surface properties of soil carbonate. Journal of Soil Science. 25 (3): 357-372.

Abdeljawad, A., and Gilanil. G. 1998. Crop response to irrigation with low quality water. In: Rajab Rojab and Geoff Pearce (eds.). Proceedings of the International workshop on the Use of Saline and Brackish Water for Irrigation: 59-71. ICID. Bali, Indonesia.

Ayars, J.E., Schoneman, R.B.R.A.S.S. Vail and Pflaum, T. 1993. Long term use of saline water for irrigation. Irrig. Sci. 14:27-34.

Ayers, R.S. and Westcot, D.W. 1985. Water quality for agriculture FAO Irrigation and Drainage paper no. 29, Rev. 1, FAO., Rome. PP. 174.

Aziz, S. 1986. Key note address, In: Proc. & Darves Bornoz Spec. Session. Natl Cmte of Pakistan, ICID; Lahore, Pakistan, Oct. 14. ICID, New Delhi

Bernstein,L. and Fireman. 1957. Laboratory studies on salt distribution on furrow-irrigated soil with special reference to the pre-emergence period, Soil Sci. 83:249-263.

Bernstein, L. and Francois, L.E 1973. Comparison of drip, furrow, and sprinkler irrigation. Soil Sci. 115:73-86.

Bernstein, L. 1975. Effects of salinity and sodicity on plant growth. Ann. Rev. Phytopathology. 13:245-312.

Boumans, J.H., van Hoorn, JW., Kruseman, G.P. and Tenwar. B.S 1988. Water table control, reuse and disposal of drainage water in Haryana. Agric. Water Mgmt. 14:537-545

Bower, C.A., and Muasland. 1963. Sodium hazard of Panjab groundwaters. In Sympozium in Waterlogging and Salinity in West Pakistan. West Pakistan Eng. Congr. 50:46-91.

Cosgrave, W.J., and Rijiberman, F.R. 2000. World Water Vision, W.W.C. Publication, London.

CSSRI – Central Soil Salinity Research Institute. 1998 Proc. Of the National Seminar on Strategies for Management of Poor Quality Waters in Agriculture. CSSRI, Karnal, India.

Dragovic, S., Cirovic M. and Hadzic V., 1988. Irrigation water quality and its effect on soil in northern Yugoslavia. In: Rajab Rajab and Geoff Pearce (eds.). Proceeding of the International Workshop on the Use of Saline and Brackish Water for Irrigation: 116-126. ICID. Bali, Indonesia.

Dregne, H.E. 1976. Soils of arid regions. International Center for Arid and semi-arid Land studies, Texas Tech, Univ., Lubbock, Texas. USA. Elsevier Sci: Pub. Company, Amesterdam, The Netherlands.

Eaton, F. M. 1950 Significance of carbonates in irrigation Waters. Soil Sci. 69: 123-133

FAO. 1989. Sustainable development and natural resources. 25th Conference of FAO. Document C 89/2. Rome.

FAO. 1992. The use of saline waters for crop production. Irrigation and Drainage Paper. No., 48.

Feizi. M. 1998. Long term effects of using saline water on soil salinity and sodicity. In: Rajab Rajab and Geoff Pearce (eds.). Proceeding of

the International Workshop on the Use of Saline and Brackish Water for Irrigation. 89-95. ICID. Bali, Indonezia.

Feizi, M. and Rezai, M. 1999. Effects of saline sprinkler irrigation on alfalfa yield and soil chemical properties. In: Rajab Rajab and Geoff Pearce (eds.). Proceeding of the International Workshop on the Use of Saline and Brackish Water for Irrigation. 96-105. ICID. Bali, Indonesia.

Ghassemi, F, Jakeman, A.J., and Nix. H.A. 1995. Salinization of land and water resources. CAB. Inter. PP. 101-104.

Graham, Stephen, and Hanzon, Blaine. 1993. Agricultural salinity and drainage. University of California. Irrigation Program, Univ. of California, Doris.

Gratten, S.R. and Rhoades. J.D. 1996. Long-term consequences of recyclying drainage water for irrigation, Proc. ASCE North American Water and Environment Congress. 96 pp.

Hayward, E.G. 1959. The salinity factor in the reuse of waste waters. In: The Future of Arid Lands. Gilbert F. White (ed.). Amer. Assoc. for the Advancement of scince Washington. D.C. PP. 274-290.

ICID 1998. Management of agricultural drainage water quality. Inter. Comm. IRRI. Drain., FAO. Water Report. No. 13. 85 PP.

Kovda, V.A. 1973. Draft report on prevention of saline soils in Iran. Soil Institute of Iran. Bull. No. 27.

Kovda, V.A. and Shalhevet, V. 1993. Quality of irrigation water. In: Irrigation, Drainage and Salinity. An Inter. Source Book. FAO / UNESCO. Hutchinson Pub. U.K. 155-156.

Kruse, E.G., Willardson L. and Ayars. J. 1990. On-farm irrigation and drainage practice. In Agricultural Salinity Assessment and

Management Manual. K.K. Tanji (ed). ASCE Manuals and Reports on Engineering No. 71, ASCE, New York. 349-371.

Lovell, C.J., Murata, C.H. Batchelor and Chilton. P.J. 1998. Use of saline groundwater for community base irrigation in dryland areas of southern Africa. In: Rajab Rajab and Geoff Piearce (eds.). Proceedings of the International Workshop on the Use of Saline and Brackish Water for Irrigation: 106-105., ICID. Bali, Indonesia.

Mass, E.V., and Hoffman. 1977. Crop salt tolerance current assessment. J. Irrig Drain. Div. Proc. Am. Soc. Civil. Eng.

Massoumi, A.M. 1977. Saline water classification in Iran. In: Managing Saline Water for Irrigation. Proc. of the Inter. Salinity Conf., Texas Teach Univ, Lubbock, Texas. 455-465.

Mass, E.V. 1990. Crop salt tolerance. In: Agricultural Salinity Assessment and Management Manual, K.K. Tanji (ed). ASCE Manuals and Reports on Engineering No. 71, ASCE. New York. PP 262-304.

Minhas, P.S., Sharma, D.R. and Khosla. B.K. 1989. Response to sorghum to the use of saline water. J. Indian Soc. Soil Sci. 37: 140-146.

Miyamoto, S., Glenn, E. P. and Olsen, M. W. 1996. Growth, water use and salt uptake of four halophytes irrigated with highly saline water. J. Arid Environments. 32: 141-159.

Oster, J.B., and Rhoades, J.D. 1985, 4th Rep. 1990. Irrigation with high sodium low salinity water. Water management for salinity and sodicity control. P. 7-1 to 7-18. In: Pethygrove, G S., and Asano, T. (eds.). Irrigation with reclaimed municipal wastewater A quidance Manual, Lewis Pub, calf.

Oster, J.D. 1994. Irrigation with poor quality irrigation water. Agr. Water Mgt. 25:171-189.

Oster. J.D., Kaffka, S.R.M.C. Shannon and Gratten, S.R. 1998. Saline-sodic drainage water: A resource for forage production. In J.I. Burns (ed) Proc. USCID 14 th Tech. Conf. On Irrigation, Drainage and Flood Control. Contemporary challenges for Irrigation and Drainage. June 3-6, 1998, Phoenix, Arizona, USCID, Denver, COLO.

Pratt, P.F. and Suares, D.L. 1990. Irrigation water quality assessments. P. 220-226. In: K.K. Tanji (ed.) Agricultural Salinity Assessment and Management. Amer. Soci. of Civil Eng., pub. No. 71. New York.

Rajab, Rajab. 1998. The use of saline / brackish water for irrigation, possibilities and constrain. In: Rajab Rajab and Geoff Piearce (eds.). Proceedings of the International Workshop on the Use of Saline and Brackish Water for Irrigation. 59-71 PP. ICID, Bali, Indonesia.

Rhoades, J.D. 1972. Quality of water for irrigation. Soil Service. 113(4) 277-284.

Rhoades, J.D. and Bernstein, L. 1971. Chemical, physical and biological characteristics of irrigation and soil water. In Leonard L. Ciaccio, ed. Water and Water Pollution Handbook. Marcel Dekker, Inc., New York. 1: 141-222.

Rhoades, J.D. 1990a. Assessing suitability of water quality for irrigation. In: Kandiah, A. (ed.). Water, Soil and Crop Management Relating to the Use of Saline Water. FAO. Rome. 52-70.

Rhoades J.D. 1990b. Blending saline and non-saline waters reduces water usable for crop production. In: Proc. 1990 conf. Irrigation and Drainage. S.C. Harris (ed.). 11-13 July 1990, Durango, Colorado. PP. 442-452.

Rhoades, J.D., Kandiah, A., and Mashall, A.M. 1992. The use of saline waters for crop production. Irrigation and Drainage paper No. 48. FAO. Rome, Italy.

Richards, L.A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA Handbook No. 60. 160P.

Rhoades, J.D. 1984. Reusing saline drainage waters for irrigation: A strategy to reduce salt loading of rivers. In salinity in watercourses and reservoirs. R.H. French (ed). Proc. Int. symp. State-of-the-Art Control of Salinity. Salt lake city. Utah, 12-15 July 1983, pp. 455-464.

Rhoads, J.D. 1998. Use of saline and brackish waters for irrigation: Implication and role in increasing food production, conserving water, sustaining irrigation and controlling soil and water degradation. "Proc. International Workshop on the Use of Saline and Brackish Water for Irrigation. Bali, Indonesia, July 1998.

Rhoads, J.D. and Merrill. S.D. 1976. Assessing the suitability of water for irrigation: Theoretical and empirical approaches. FAO Soils Bulletin. 31: 69-109.

Rhoads, J.D. and Loveday. J. 1990. Salinty in irrigated agriculture. In B.A. Stwart and D.R. Nielson (eds), Irrigation of Agricultural Crops, Agronomy Monograph No. 30, ASA, Madison, Wisconsin, pp. 1089-1142.

Rhoads, J.D., Kandiah, A. and Mashali. A.M. 1992. The use of saline waters for crop production, water conservation and environmental production: Guidelines on water, soil and crop management. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 48. FAO. Rome, 153 pp.

Rhoades, J.D., Lesch, S.M.S.L. Burch, J. Letey, R.D. Lemert, P.J. Shouse, J.D. Oster and Hollran. T.O. 1996. Salt transport in cracking soil: salt distributions in soil profiles and salt pick-up by run-off waters. Jour. Irrigation and Drainage Engineering, ASCE 123: 323-328.

Rhoads, J.D.,S.M. Lesch, R.D. Lemert and Alves. W.J. 1997. Assessing irrigation/drainage and salinity management using spatially referenced salinity measurements. Agr. Water Mgt. 35: 147-165.

Scofield, C.S. 1942. Pecos River joint investigation. Reports of participating agencies. U. S. National Resources Planning Board. Washinton, D. C. PP. 263-334.

Sepaskhah, A.R. and Maftonn M. 1981. Growth and chemical composition, of Pistachio seeding as influence by irrigation regims and salinity levels of irrigation water. I. Growth Jour. of Hort. Sci: 56 (4). 277-284.

Szabolcs, I. 1992. Salinization of soil and water and its relation to desertification. Desertification Control Bulletin. UNEP. 21: 32-37.

Shannon, M.C. Cervinka, V. and Danial D.A. 1997. Drainage water reuse. In management of agricultural drainage water quality. Madra mootoo, C.C.,W.R. Johnston and L.S. Willardson (eds.). Water Reports IB, ICID and FAO Joint Publication. FAO. Rome.

Shouse, D.J.,J. Letey, J.A. Jobes, J. Fargerland, S.L. Burch J.D. Oster, J.D. Rhoades and Halloran. T.O. 1997. Salt transport in crocking soils: Bromide tracer study. J. Irrigation and Drainage Engineering, ASCE 123: 329-335.

Tanji, K.K. and Karajed, F.F., 1993. Saline water reuse in agroforestry systems. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 119: 170-180.

Tanji, K.K. 1995. Agricultural salinity assessment and management. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 71.

UNESCO. 1954. Utilization of saline water. Proceeding of the Tehran Symposium, Arid zone Research Series, UNESCO. Paris.

UNCESCO: 1961. Salinity problems in the arid zones. Proceeding of the Tehran Sympusium. Arid Zone Research XIV. UNESCO, Paris.

UNESCO. 1970. Tunisia, research and training on irrigation with saline water. Paris. 256 P. and 32 Irrig.

UNESCO / UNDP. 1970. Research and training on irrigation with saline water. Tech. Report Tun. 5. UNESCO Paris. 256. PP.

US Salinity Laboratory Staff. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. L.A. Richards (ed). US Dept. Agric. Handbook No. 60.

Van Schilfgaarde, J. and Rawlins. S.L. 1980. Water resources management in growing society. In Efficient Water Use in Crop Production. T.W. Tibbitts and T.T. Kozlowski (ed). American Society of Agronomy. 12: 517-536.

Wescot, D.W., and Ayers, R.S. 1985 4th Rep Irrigation water quality criteria. P. 3-1 to 3-37. In: Pettygrove, G.S. and Asano, T: (eds.). Irrigation with reclaimed municipal wastewater. A guidance Manual Lewis Pub., calif.

World Resources, 1992. A report by the world Resources Institute in collabration with the UNEP and UNDP, Oxford Univ. Press P. 159-162.

Yazdani, H., A Tavassoli, and Fallah. V.M. 1996. Saline water use for crops. FAO. Proceedings in Philippines Nov. PP. 25-29.

Saline Water Utilization in Sustainable Agriculture

Iranian National Committee on Irrigation and Drainage (IRNCID)

Working Group "On – Farm Irrigation Systems"

ISBN: 964 – 94026 – 6 – 7

Written by:

M.J. Abedi *S. Nairizi*
N. Ebrahimi Birang *M. Maherani*
H. Khaledi *N. Mehrdadi*
A.M. Cheraghi

Saline Water Utilization in Sustainable Agriculture

Iranian National Committee on Irrigation and Drainage (IRNCID)

No. 69 - 2002

کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران

تهران ـ خیابان وحید دستگردی (ظفر) ـ خیابان شهید کارگزار ـ خیابان شهرساز

پلاک ۲٤ ـ طبقه دوم تلفن: ۲۲۵۷۳٤۸ نمابر: ۲۲۷۲۲۸۵

E-mail: irncid@neda.net.ir

Saline Water Utilization in Sustainable Agriculture

Iranian National Committee
on Irrigation and Drainage (IRNCID)

Working Group "On - Farm Irrigation Systems"

ISBN: 964-94026-6-7 شابک : ۹۶۴-۹۴۰۲۶-۶-۷