حفاظت از منابع فیزیکی تولید در کشاورزی

« خاک و آب »

تالیف:

ابراهیم یذیرا

کمیته ملی آبیاری و زهکشی

شماره انتشار: ۱۵۱

حفاظت از منابع فیزیکی تولید
در کشاورزی (خاک و آب)

تالیف:

ابراهیم پذیرا

بسم الله الرحمن الرحيم

سرشناسه	: پذیرا، ابراهیم
عنوان و نام پدیدآور	: حفاظت از منابع فیزیکی تولید در کشاورزی (خاک و آب)/ تالیف ابراهیم پذیرا.
مشخصات نشر	: تهران: کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۱۳۹۱.
مشخصات ظاهری	: ۲۶۸ ص.: جدول، نمودار.
شابک	: ۶۵۰۰۰ ریال:978-964-6668-88-1
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
یادداشت	: عنوان به انگلیسی: Conservation of physical resources for agricultural production (soil and water).
یادداشت	: کتابنامه: ص. [۲۶۱] - ۲۶۸.
موضوع	: خاک -- حفاظت
موضوع	: آب -- حفاظت
موضوع	: خاک -- شورشدگی
موضوع	: آب -شور شدگی
موضوع	: خاک -- فرسایش
موضوع	: آب -- هدر رفت
شناسه افزوده	: ایران. کمیته ملی آبیاری و زهکشی
رده بندی کنگره	: S۶۲۳/پ۴ح۷ ۱۳۹۱
رده بندی دیویی	: ۶۳۱/۴۵
شماره کتابشناسی ملی	: ۲۸۶۳۳۶۹

نام کتاب : حفاظت از منابع فیزیکی تولید در کشاورزی (خاک و آب)

تألیف : ابراهیم پذیرا

ناشر : کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران

چاپ اول: ۱۳۹۱

تیراژ : ۵۰۰ نسخه

قیمت : ۶۵۰۰۰ ریال

شابک : ۹۷۸ -۹۶۴ - ۶۶۶۸-۸۸-۱

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

نشانی: تهران، خیابان شهید دستگردی، خیابان شهید کارگزار، خیابان شهید شهرساز، پلاک ۱، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران تلفن: ۲۲۲۵۷۳۴۸ نمابر: ۲۲۲۷۲۲۸۵

www.irncid.org

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

پیشگفتار رئیس شورایعالی کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران

شرایط اقلیمی کشور ایران به گونه‌ای است که بخش کشاورزی آن بـه شـدت بـه آب برای تولید محصولات کشاورزی وابسته است. این وابستگی به حدیست که با وجـود سطح نسبتاً یکسان اراضی سالانه زیر کشت دیم و فاریاب کشور، حـدود ۹۰ درصـد فرآورده‌های کشاورزی از زراعت آبی حاصل می‌شـود. در چنـین شـرایطی تـأثیرات اقلیمی ناشی از پدیده خشکسالی و یا ترسالی می‌تواند اثرات منفی یا مثبت زیادی بـر تولید محصولات کشاورزی و امنیت غذایی ایران داشته باشد.

شرایط متفاوت اقلیمی و منابع آب ایران، طلب می‌کنـد کـه محققـان، مـدیران و مراکـز علمی و پژوهشی کشـورمان در بخـش آبیـاری و زهکشـی نیـز متفـاوت‌تـر از سـایر کشورهای جهان که شرایط طبیعی نسبتاً پایداری دارند باشند. پژوهشگران و مراکـز تحقیقاتی ایران می‌بایسـت از پویـایی، ابتکـار، نـوآوری و پـژوهش محـوری ویـژه‌ای برخوردار باشند تا بتوانند کشور را در شرایط پایدار تولید حفظ نمایند.

کلیـه کارشناسـان و مراکـز علمـی و آموزشـی کـه در خـانواده بـزرگ آب و خـاک کشورمان فعال هستند، مسئولیت بزرگی در تأمین امنیت آبی و غذایی برعهده دارنـد. یکی از مراکز علمی فعال در صنعت آب کشورمان، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران است که در سال ۱۳۷۰ پس از یک وقفه طولانی به طـور رسـمی آغـاز بـه کـار کـرده است. این کمیته ملی طی دهه اخیر نقش مـؤثری در اشـاعه علـوم و فنـون آبیـاری و زهکشی در ایران داشته است. اثربخشی علمی و فرهنگی بیش از ۱۳۰ کتاب و گزارش فنی این کمیته ملی به همراه برگـزاری دهها سـمینار و کارگـاه‌هـای فنـی در ادبیـات کارشناسان و مدیران صنعت آب کشور به خوبی آشکار می‌باشد.

خودباوری کارشناسان ایرانی نه تنها تأثیر عمیقی بـر توسـعه و پیشـرفت آبیـاری و زهکشی کشورمان داشته است بلکه از نگـاه بیرونـی و در سـطح بـین‌المللـی نیـز بـه توفیقات زیادی دست یافته است. اگر بپذیریم که خودباوری و پویایی کارشناسـان از ارکان رشد و توسعه هستند توفیق کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران در ایـن زمینـه قابل ارزیابی است.

در اینجا جا دارد از کلیه همکارانم در شورایعالی کـه نقـش سیاسـت‌گـذاری کـلان را عهده‌دار می‌باشند و هیئت اجرایی که وظیفه نظارت و هدایت بدنه علمی کمیته ملـی را بدوش دارند و کادر علمی و فنی متخصص در گروه‌هـای کـار و در نهایـت کارکنـان دبیرخانه کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران قدردانی و سپاسگزاری نمایم. از خداوند منان پیشرفت و توسعه کشور عزیزمان ایران را در کلیه امور، به ویژه اعتلای صنعت آب و کشاورزی مسئلت داریم.

علیرضا دائمی

سرپرست معاونت امور آب و آبفا وزارت نیرو

و رئیس شورایعالی کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران

پیشگفتار دبیرکل کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران

متخصصین علوم کشاورزی برای جوامع ساکن و رو به افزایش در مناطق خشک و نیمه خشک، نیازمند تغییر نگرش علمی خود در مورد مفهوم «توسعه » و بکارگیری «سامانه‌های پیشرفته فناوری» به منظور تولید فرآورده‌های کشاورزی (مواد غذایی و تولیدات خام صنعتی)، مصرف بهینه از منابع فیزیکی تولید و انرژی، حفظ زیست بوم و منظر سازی می‌باشند. برای دستیابی به عملکرد بهینه در کشاورزی یکی از گزینه‌های نو، شناخت و بکارگیری روش‌های نوین است که خود مستلزم شناخت دقیق و علمی توانمندی‌های موجود و محدودیت‌های منابع فیزیکی تولید در کشاورزی (خاک و آب) می‌باشد. انتخاب و بکارگیری فناوری‌های نو که مبتنی بر شناخت توانمندی و محدودیت منابع موجود پایه ریزی شده باشد می‌تواند موجب افزایش مؤثر بازده اقتصادی یا پیشگری از تخریب بیشتر منابع طبیعی، متضمن امنیت غذایی و اعتلای سطح زندگی جامعه باشد.

اطلاعات موجود نمایانگر آنست که از کل ۱٦٥ میلیون هکتار زمین‌های سطح کشور، بیش از ٥٠ درصد آن کوهستانی است و در گستره‌ای حدود ۱٤٨/٥ میلیون هکتار (۹٠ درصد)، از میزان بارندگی کافی بهره‌مند نیست. بطوریکه میانگین بارندگی در کشور ۲٤٠ تا ۲٥٠ میلی‌متر در سال می‌باشد و بدین دلیل سطح بسیار وسیعی از مساحت کل کشور را اقالیم خشک و نیمه خشک تشکیل می‌دهد و مساحتی حدود ۲۳/٥ میلیون هکتار یا ۱٤/۲ درصد از مساحت کل کشور که معادل ۳٠ درصد مساحت فلات‌های کم ارتفاع و دشت‌های کشور است با مشکلات شوری، سدیمی بودن، زهداری و حالت ماندابی روبرو است و حجم بسیار قابل ملاحظه‌ای از منابع آبهای سطحی و زیرزمینی کشور نیز شور می‌باشند،بنا براین می‌توان نتیجه گرفت که کشاورزی کشور با مسئله شوری منابع فیزیکی تولید (خاک و آب) وابستگی داشته که انجام فعالیت‌های اقتصادی و کشاورزی در آن نیاز به رعایت ضوابط و اقدامات خاص دارد که در مقایسه با آنچه در کشاورزی با خاک و آب غیر شور مطرح است ابعاد متفاوتی دارد.

تألیف کتاب حاضر توسط آقای دکتر ابراهیم پذیرا[1]، یکی از همکاران صمیمی کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران با توجه خاص به موارد پیش گفته تهیه و تدوین یافته و بازخوانی آن بوسیله آقای دکتر مهدی همایی[2] بانجام رسیده است. مؤلف از اینجانب در خواست نموده که مراتب قدر شناسی ایشان از آقای مهندس مجتبی اکرم[3] به پاس همفکری‌های ایشان در کلیه مراحل تهیه و تدوین فصول مختلف این مجموعه را ابراز نمایم.

مطالعه و بهره‌برداری از مندرجات این مجموعه می‌تواند مورد استفاده متخصصین و کارشناسان علوم و مهندسی آبیاری و زهکشی، اصلاح خاک و اراضی و سایر علاقه‌مندان به مسایل کشاورزی قرار گیرد.

در پایان ار کلیه همکاران گروه کار زهکشی و محیط زیست و همچنین از همکاران دبیرخانه کمیته ملی آبیاری و زهکشی که پیگیری مراحل آمادگی، صفحه آرایی و نگارش این اثر را عهده‌دار بوده‌اند، قدردانی می‌شود.

سیداسداله اسدالهی

دبیرکل کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران

۱- عضو هیأت علمی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی – تهران.

۲- استاد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.

۳- کارشناس ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی و مسئول گروه کار زهکشی و محیط زیست، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
بخش نخست - ضرورت حفاظت از منابع فیزیکی تولید (خاک و آب) در کشاورزی	۱
فصل اول: حفاظت منابع فیزیکی تولید (زمین و آب)	۲
۱-۱- مقدمه	۲
۱-۲- وضعیت کنونی زمین‌ها، خاک چگونه تشکیل و تکوین می‌یابد؟	۳
۱-۳- انواع هدر رفت خاک‌ها	۵
- تهی شدن خاک از مواد معدنی	۶
- نگاهی به مشکل تهی شدن خاک	۷
- اصول برنامه‌ریزی تناوب زراعی	۷
۱-۴- تهی شدن خاک‌ها از مواد معدنی و مسئله سلامت	۸
- آبشویی مواد معدنی از نیمرخ خاک‌ها	۸
- هدررفت مواد آلی خاک	۹
۱-۵- فرآیند هدررفت خاک لایه سطحی	۱۰
۱-۵-۱- فرسایش آبی	۱۱
- زراعت هم تراز	۱۲
- زراعت نواری	۱۲
- تراس بندی	۱۳
- کنترل گودال یا خندق‌ها	۱۳
۱-۵-۲- مشکل فرسایش بادی و کنترل آن	۱۴
- مسائل سازمانی و تشکیلاتی حفاظت خاک	۱۵
۱-۶- مسایل توامان خاک و آب (چرخه‌ای همتافت در طبیعت)	۱۶
- چرخه آب در طبیعت	۱۷
- ریزش‌های آسمانی	۱۸
- آب‌های زیرزمینی	۱۹
- حرکت آب‌های زیرزمینی	۱۹
- تهی شدن یا کاهش منابع آب زیرزمینی	۲۰
- رواناب سطحی	۲۱
۱-۷- اقدامات لازم برای برنامه‌های حفاظت آب	۲۳

عنوان	صفحه
- احداث سدها و پروژه‌های برق آبی	۲۴
۱-۸- نتیجه‌گیری	۲۵
- بعضی منابع برای مطالعه بیشتر	۲۶
فصل دوم: عوامل مؤثر بر گرایش به شوری منابع فیزیکی تولید (زمین و آب)	۲۷
۲-۱- مقدمه	۲۷
۲-۲- منشأ نمک در منابع خاک و آب	۳۱
۲-۳- منشأ نمک در منابع خاک و زمین‌های کشاورزی	۳۲
- منشأ قاره‌ای	۳۲
- منشأ دریایی	۳۳
- شرایط دلتایی	۳۳
- منشأ آرتزین	۳۳
- فعالیت‌های انسانی	۳۳
۲-۴- عوامل مؤثر در شور شدن منابع آب	۳۴
۲-۴-۱- ساختارهای زمین شناسی	۳۴
۲-۴-۲- سازندهای کربناتی	۳۵
۲-۴-۳- رسوب‌های تبخیری	۳۵
۲-۴-۴- عوامل آب و هوایی و موقعیت جغرافیایی	۳۶
۲-۴-۵- وضعیت آبهای زیرزمینی	۳۶
۲-۴-۶- اثر آب دریا و آبهای شور زیرزمینی بر آبخوان‌ها	۳۷
۲-۵- وضعیت کیفی خاک‌های شور و سدیمی و اثرهای آن در کشاورزی	۳۷
۲-۶- علل گرایش خاک‌ها به شوری و سدیمی شدن	۴۰
- اثر نمک‌های محلول	۴۱
- تبخیر، تبخیر و تعرّق شدید	۴۱
- ویژگی‌های شیمیایی آب‌ها	۴۲
- شرایط زهکشی خاک و زمین‌ها	۴۲
- منبع و منشأ نمک‌های محلول	۴۳
۲-۷- رده‌بندی و اصلاح خاک‌های شور و سدیمی	۴۴

عنوان	صفحه
- خاک‌های شور	۴۴
- خاک‌های سدیمی	۴۵
- خاک‌های شور و سدیمی	۴۶
- اثر شوری و سدیمی بودن بر ویژگیهای خاک و عملکرد گیاهان	۴۷
۲-۸- اثر شوری و سدیمی بودن بر ویژگیهای خاک	۴۸
- اثر شوری خاک بر عملکرد گیاهان	۴۹
۲-۹- ملاحظات ویژه در کشاورزی و آبیاری در شرایط شوری منابع فیزیکی تولید	۵۰
- انتخاب گیاهان سازگار	۵۰
- تنظیم تراکم و تجمع نمک در نیمرخ خاک	۵۱
- مدیریت بهره‌برداری از منابع فیزیکی تولید (آب و خاک)	۵۱
- توجه به نیاز آبشویی گیاهان موردنظر	۵۲
- تدابیر اجرایی برنامه‌های اصلاحی خاک	۵۲
۲-۱۰- نتیجه گیری	۵۳
- بعضی منابع برای مطالعه بیشتر	۵۴
فصل سوم: عوامل مؤثر در گرایش به شوری دیمزارها و زمین‌های شالیزار و راهکارهای مقابله با آن	۵۵
۳-۱- مسایل شوری خاک در دیمزارها	۵۵
۳-۲- چگونگی تشکیل خاکهای شور در دیمزارها	۵۶
۳-۳- عوامل مؤثر بر تشکیل و توسعه مناطق "شوری تراوشی"	۵۷
- آب مازاد یا اضافی	۵۷
-آیش نگهداری اراضی	۵۸
- تراکم ریزش باران	۵۸
- تراکم آب و برف	۵۸
- چرای بی‌رویه	۵۸
- ویژگی‌های خاک و زمین	۵۹
۳-۴- راه‌های مقابله و مدیریت زمین‌ها با شوری تراوشی	۵۹
۳-۴-۱- اقدامات لازم برای منطقه تغذیه کننده	۶۰

عنوان	صفحه
- اقدام به زراعت متراکم	۶۰
- کشت گیاهان دایمی و ریشه عمیق	۶۰
- زهکشی زمین‌ها	۶۱
۳-۴-۲- اقدامات لازم برای منطقه تغذیه شونده	۶۱
- عملیات زراعی	۶۱
- زهکشی زمین‌ها	۶۱
- کشت گیاهان مقاوم به شوری	۶۳
۳-۵- لزوم کنترل شوری در زمین‌های شالیزار	۶۳
۳-۶- علل گرایش کیفیت زمین‌های شالیزار به شوری و قلیا شدن	۶۶
- شوری دریایی	۶۷
- شوری و قلیائیت درون جریانی	۶۸
- شوری و قلیائیت آب زیرزمینی	۶۸
- شوری و قلیائیت آبهای سطحی	۶۸
۳-۷- روش‌های مقابله با مشکل شوری و مدیریت زمین‌های شالیزار	۶۸
۳-۷-۱- نمک‌زدائی زمین‌های شالیزار توسط استغراق سطح خاک‌ها	۶۹
۳-۷-۲- شوری‌زدائی زمین‌های شالیزار به کمک تراوشات عمقی آب کاربردی	۷۰
۳-۸- نتیجه گیری	۷۳
- بعضی منابع برای مطالعه بیشتر	۷۴
فصل چهارم: مبانی نظری و عملی شوریزدائی نمکهای محلول از نیمرخ خاک‌ها	۷۵
۴-۱- مقدمه	۷۵
۴-۲- تعیین آب مورد نیاز آبشویی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک‌ها	۸۰
۴-۲-۱- نیاز آبشویی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک‌ها	۸۱
۴-۲-۲- نیاز اصلاحی اراضی شور، شور و سدیمی	۸۳
۴-۲-۳- ضریب بازده یا راندمان آبشویی نمک‌های محلول	۸۸
۴-۲-۴- عملیات آبشویی برای کاربرد نیاز اصلاحی اراضی	۸۹
- بعضی منابع برای مطالعه بیشتر	۹۳
فصل پنجم: چگونگی پویایی نمک های محلول و آلاینده‌ها در نیمرخ خاک و راهکارهای بررسی آن	۹۵

عنوان	صفحه
۵-۱- مقدمه	۹۵
۵-۲-ملاحظات زیست‌محیطی و حرکت توده‌ای نمکهای محلول و آلاینده‌ها در خاکها	۹۶
۵-۲-۱- فرآیند پخشیدگی	۹۷
۵-۲-۲- فرآیند جریان انبوه	۹۹
۵-۲-۳- فرآیند انتشار مکانیکی	۱۰۰
۵-۲-۴- انتشار هیدرودینامیک	۱۰۱
۵-۲-۵- شرایط و اعتبار موارد کاربرد رابطه انتشار	۱۰۴
۵-۲-۶- پدیده تاخیر	۱۰۵
۵-۳- وضعیت نمک‌ها در شرایط متحرک و غیرمتحرک بودن ترکیبات	۱۱۰
۵-۴- مثال‌هایی از چگونگی محاسبات	۱۱۴
- بعضی منابع برای مطالعه بیشتر	۱۱۸
فصل ششم: اثرات کیفیت آب‌های مصرفی در عملیات آبیاری بر منابع فیزیکی تولید و محیط‌زیست	۱۱۹
۶-۱- مقدمه	۱۱۹
۶-۲- مروری بر اهمیت آب در کشور	۱۲۰
۶-۳- مبانی ارزیابی کیفیت آبهای مورد مصرف در عملیات آبیاری	۱۲۱
۶-۴- اثرات کیفیت آب بر محیطزیست	۱۳۰
۶-۵- امکانات کاربرد پس‌آب فاضلاب‌ها	۱۳۱
-ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی	۱۳۲
۶-۶- تدابیر لازم برای کاربرد آبهای حاصل از تصفیه فاضلاب‌ها	۱۳۵
۶-۷- ملاحظات لازم برای کاربرد لجن حاصل از تصفیه فاضلاب‌ها	۱۴۰
۶-۸- راهکارهای مدیریتی تعدیل پیامدهای محتمل و نتیجه‌گیری	۱۴۱
بعضی منابع برای مطالعه بیشتر	۱۴۴
بخش دوم- بیلان آب و نمک در رویشگاه گیاهان و ضرورت پایش و کنترل آن	۱۴۵
فصل هفتم: بیلان آب و نمک در رویشگاه گیاهان (زراعی و باغی)	۱۴۶
۷-۱- بیلان آب و نمک در خاک	۱۴۶
۷-۱-۱- بیلان آب و نمک در محدوده توسعه ریشه گیاهان	۱۴۷

عنوان	صفحه
۷-۱-۲- ضریب بازده یا بازده آبشویی نمکها	۱۴۹
۷-۱-۳- رابطه تعادل نمک و نیاز آبشویی	۱۵۱
۷-۱-۴- رابطه انباشت نمک	۱۵۳
۷-۱-۵- بیان رابطه‌های تعادل و انباشت نمک به‌صورت هدایت الکتریکی	۱۵۵
۷-۱-۶- مثال‌هایی از چگونگی محاسبات	۱۵۷
- زمین‌های تحت آبیاری مستمر ، بدون حالت خیز موئینه‌ای	۱۵۷
- اراضی تحت آبیاری فصلی، با خیزموئینه‌ای در دوره آیش	۱۶۶
۷-۲- نیاز آبشویی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک‌ها و نیاز اصلاحی زمین‌ها	۱۷۰
۷-۲-۱- کلیات	۱۷۰
۷-۲-۲- نیاز آبشویی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک‌ها	۱۷۳
۷-۲-۳- نیاز اصلاحی زمینها	۱۸۰
۷-۳- ضرورت کنترل کیفی بیلان آب و نمک در خاک	۱۸۴
۷-۴- مثال‌هایی از چگونگی محاسبات	۱۸۹
- آب موردنیاز آبیاری	۱۸۹
- آب موردنیاز آبشویی	۱۹۱
پیوست‌ها	۲۰۳
پیوست شماره یک: حفاظت از منابع فیزیکی تولید(خاک و آب)	۲۰۵
پیوست شماره دو: برخی موارد لازم به تعمق در مورد تشکیل، تکامل و هدر رفت خاک ها	۲۰۹
پیوست شماره سه: شرح اجمالی رده های خاک که دارای لایه ها یا افق‌های شور و سدیمی می باشد.	۲۱۱
پیوست شماره چهار: رهنمود هایی برای انتخاب و کاربرد مواد اصلاح کننده شیمیایی خاک‌های سدیمی، شور و سدیمی	۲۱۷
پیوست شماره پنج: برخی موارد لازم به توجه در مورد کاربرد آب‌های با کیفیت بینابینی در عملیات آبیاری	۲۲۵
پیوست شماره شش: پتانسیل عملکرد گیاه برنج در شرایط شوری منابع فیزیکی تولید(خاک و آب)	۲۲۷

عنوان	صفحه
پیوست شماره هفت: مثال عملی از کاربرد مدل‌های تجربی آبشویی نمک‌ها در خاک‌های شور	۲۳۵
پیوست شماره هشت: مبانی نظری و عملی اختلاط آبهای با کیفیت متفاوت	۲۵۵
پیوست شماره نه: محاسبه میزان سختی کل (TH) آبهای مصرفی	۲۵۷
منابع مورد استفاده در بخش نخست	۲۶۱
منابع مورد استفاده در بخش دوم	۲۶۶

بخش نخست
ضرورت حفاظت از منابع فیزیکی تولید (خاک و آب)
در کشاورزی

فصل اول: حفاظت منابع فیزیکی تولید (زمین و آب)

۱-۱- مقدمه

شواهد تاریخی گواه بر آن است که هرگاه گروهی از مهاجرین، با فرهنگ، تمدن و دانسته‌های خود پا به سرزمین‌های جدید می‌گذاشته‌اند، آن مناطق را در اغلب موارد سرشار از توانمندی‌های طبیعی چشم‌گیری می‌یافتند. این منابع طبیعی، بر اثر دو اصل انتخاب طبیعی[1] و تنازع بقاء[2] که طی زمان با یکدیگر به حالت تعادل رسیده‌اند شکل گرفته بود. فرصت‌های فراوان برای زندگی مهاجران تازه وارد نیز بر همین مبنا فراهم شده بود. شرایط اقلیمی، موقعیت جغرافیایی، منابع قابل بهره‌برداری آب و زمین، کلیه شرایط لازم برای تولیدات گیاهی را امکان‌پذیر می‌ساخت. وجود جنگل‌ها و مراتع به همراه تنوع گونه‌های گیاهی بومی، همگی نمایانگر فراهم بودن زیرساختارهایی بود که امکان استقرار اجتماعات و قومیت‌های انسانی جدید را نوید می‌بخشید. اینک بزرگترین چالش، پاک‌سازی زمین[3] برای کشاورزی بود. این مشکل موجب گردید که برای نسل‌های متمادی انسان در برابر طبیعت قرار گیرد.

انسان به‌عنوان بهره‌بردار بی‌شفقت و متنازع، کارفرمایی مستبد، مشاور و ناظری خویش‌فرما و پیمانکاری خودرأی در برابر طبیعت بهره‌ده و فرمان‌برداری که به‌تدریج توان مقابله و یا تولید را از دست می‌دهد، قرار گرفت. لیکن این طبیعت صبور همواره نمایه‌هایی مثبت در برابر بهره‌برداری معقول و پایدار را نمودار می‌سازد. هرچند واکنش و خشم طبیعت در جریان بروز حوادثی همچون: خشکسالی‌های پیاپی، سیل‌های مخرب، زلزله‌های ناگهانی، پدیده سونامی، آتش‌سوزی‌های طبیعی، فعالیت آتش‌فشان‌ها، شیوع آفات و بیماری‌ها، وقوع یخبندان‌ها و هجوم جبهه‌های هوای سرد ناگهانی، گرم شدن کره زمین هر از چند گاهی تجلّی می‌یابد.

بی‌گمان، همان‌گونه که در دانش اقتصاد کشاورزی بر آن تأکید شده، زمین بنیادی‌ترین نهاده هر فعالیت اقتصادی و کشاورزی است و در هر جامعه‌ای موجب رونق و شکوفایی

1- Natural Selection
2- Struggle for Existence
3- Land Clearing

اقتصادی می‌گردد. از دیدگاه منابع طبیعی، زمین زیستگاه جنگل‌ها و مراتع است. لیکن چنانچه برای مقاصد کشاورزی و باغی کاربرد آن تغییر یابد، در سال‌های نخست حاصلخیزی مطلوب خاک موجب عملکرد زیاد گیاهان (فصلی، یکساله و چندساله) می‌شود. در آن دسته مراتع که دست‌خوش تغییر کاربری نشده‌اند نیز، حیوانات اهلی شده بومی و غیربومی با چرا در مراتع پرفرآورده و سرشار از علوفه‌های خوش خوراک[1] زودپروار می‌گردیدند و این دست‌آوردهای موفق و موقت موجب غفلت انسان در بهره‌برداری بهینه و پایدار از منابع موجود گردید.

در زیر به پاره‌ای نکات درباره منابع فیزیکی تولید (زمین و آب) پرداخته خواهد شد.

۱-۲- وضعیت کنونی زمین‌ها، خاک چگونه تشکیل و تکوین می‌یابد؟

به راستی شرایط زمین‌های ما در حال حاضر چگونه است؟ آیا خاک‌های ما توان تأمین همه نیازهای جمعیت در حال رشد کشور را دارند؟ آیا زمین‌های ما قادر به تأمین مواد غذایی و فرآورده‌های خام صنعتی به‌گونه‌ای که سطح زندگی ما را در مرتبه‌ای بالاتر از کشورهای هم‌جوار قرار دهد، می‌باشند؟ جواب مشخص به این پرسش‌ها در صورت عدم اجرای عملیات حفاظتی آن‌هم در مقیاس وسیع و بدون فوت وقت به‌طور یقین مثبت نیست. لیکن در صورتی که نسبت به ترمیم خسارت‌ها آن‌هم سریع‌تر از آنچه خود عامل آن بوده‌ایم و فراتر از آنچه در طبیعت در حال وقوع یا تسریع است، اقدام کنیم، می‌توان به حفظ و بقاء این منبع طبیعی از طریق اقدامات حفاظتی علمی و کارآمد، امیدوار بود. هرچند، دست‌یابی به چنین هدفی کاری بس دشوار و گاه بسیار پرهزینه است. به دیگر بیان، وظیفه همگان افزون بر حفظ شرایط کنونی، ترمیم و جبران خسارت‌هایی می‌باشد که به وسیله نسل‌های گذشته صورت گرفته است.

اگر بپنداریم که زمین کره‌ای صخره‌ای است، آنگاه در می‌یابیم که خاک پوسته‌ای نازک از این گوی بسیار بزرگ است. طی فصل‌های متوالی، آب‌های روان، پدیده یخبندان و ذوب مجدد، باد و دیگر نیروهایی که در طبیعت وجود دارند، باعث تخریب سنگ‌ها و تبدیل تدریجی آن‌ها به سنگ‌ریزه، شن، ماسه و یا رس می‌شود. بدین ترتیب خاک معدنی و یا

1- Palatable

لایه زیرین[1] سطح خاک تشکیل می‌شود. در بیشتر مناطق، خاک‌های موجود در لایه‌های زیرین چندین متر ضخامت دارند که نمایانگر تجزیه و تخریب مواد مادری تشکیل‌دهنده آن‌ها طی فرآیندی آهسته و به قدمت هزاران سال می‌باشد. بخش آلی خاک، از تجزیه و فساد آهسته بقایای گیاهی (ریشه‌ها، ساقه‌ها، برگ‌ها و سایر اجزای گیاهی) به دست می‌آید. بقایای حاصل از تجزیه و تخریب مواد گیاهی، هوموس[2] نامیده می‌شوند. آنچه که از بقایای خزه‌ها، جلبک‌ها و سایر گیاهان آبزی در دریاچه‌ها و باتلاق‌ها بر جای می‌ماند، پیت[3] یا تورب نام دارد.

اختلاط مواد معدنی لایه زیرین با مواد آلی به صورت توأم، خاک لایه سطحی[4] و در شرایطی خاک با بافت لوم[5] را تشکیل می‌دهد. لایه سطحی خاک مهم‌ترین بخش نیمرخ آن است که مواد غذایی مورد نیاز گیاهان اعم از عناصر پرمصرف و کم‌مصرف آن‌ها را تأمین می‌نماید. تشکیل خاک لایه سطحی فرآیندی بسیار آهسته است. برای تشکیل خاکی به ضخامت تقریبی ۲/۵ سانتیمتر، حدود پانصد سال زمان لازم است.

خاک لایه سطحی زیستگاه مناسبی برای انواع باکتری‌ها، ریزجانداران همزیست با گیاهان، انگل‌ها و قارچ‌ها می‌باشد. به این نوع ریز جانداران گیاهی، مجموعه گیاهان خاک[6] گفته می‌شود. فعالیت اغلب موجودات خاک‌زی[7] برای حاصلخیزی و بارور بودن خاک‌ها بسیار با اهمیت است. زیرا تجزیه و فساد (تدریجی)، تولید آمونیاک، تشکیل نیترات و تعداد زیادی فرآیندهای شیمیایی دیگر باعث می‌شود که خاک لایه سطحی، زیستگاه مناسبی برای رشد و نمو گیاهان عالی باشد.

هرگاه به نیمرخ یک خاکریز و یا دیواره یک آبراهه کوچک نگاه کنیم، افق‌های سطحی به رنگ تیره و لایه‌های زیرین با رنگ روشن‌تر در نیمرخ خاک قرار دارند. در شرایط طبیعی، مقادیر کمی از خاک لایه سطحی در هر دوره (فصل یا سال) شسته و یا به نقاط دیگر حمل می‌شوند، مقادیر خاک هدررفته به‌وسیله افزوده شدن خاک لایه سطحی که

1- Subsoil
2- Humus
3- Peat
4- Topsoil
5- Loam
6- Soil Flora
7- Soil Organisms

به‌وسیله تجزیه و فساد بقایای گیاهی در افق سطحی خاک بوجود می‌آید، جایگزین می‌گردد*. بنابراین، فرآیند تشکیل خاک لایه سطحی پدیده‌ای پیوسته و دایمی است، لیکن باید بخاطر داشت که این پدیده بسیار کند و آهسته است.

به‌طور معمول در مناطقی که تعادل طبیعی در آن‌ها برقرار است، ضخامت لایه سطحی بین ۱۵ تا ۲۵ سانتیمتر می‌باشد. لیکن در شرایطی که تعادل طبیعی بر قرار نباشد و عوامل زیان‌آور منابع خاک را متأثر می‌نماید، ضخامت این لایه به نصف کاهش می‌یابد. به‌هرحال هرگاه خاک لایه سطحی منطقه‌ای از بین برود آن زمین‌ها را باید به‌عنوان بیابان منظور نمود. به عبارت دیگر باید پذیرفت که ما هم اکنون بر روی خاک‌هایی زیست می‌کنیم که تا بیابانی شدن تنها حدود ۱۲–۱۰ سانتیمتر فاصله داریم. متخصصین حفاظت خاک بر این باورند که ما نیمی از آنچه را که داشته‌ایم، پیش‌تر از دست داده‌ایم. هرچند این واقعه فاجعه بسیار جدّی است، لیکن هنوز برای حل مشکل دیر نیست.

۱-۳- انواع هدر رفت خاک‌ها

خاک، در برخی شرایط، توان تولید خود را به‌دلیل تخلیه مواد معدنی اصلی بر اثر کشت و کار گیاهان از دست می‌دهد. این نوع فرسودگی خاک، در اصطلاح تهی شدن[1] نامیده می‌شود. خاک‌هایی که در آن‌ها کشاورزی فشرده صورت می‌گیرد، جریان حاصل از تراوشات عمقی، موجب انتقال مواد معدنی محلول به اعماق زیرین لایه سطحی خاک می‌شود. به این پدیده نیز آبشوئی[2] گویند. لیکن منظور از فرسایش[3] ، هدررفت کل خاک لایه سطحی توسط آب و باد می‌باشد. فرسایش، بحرانی‌ترین شکل هدررفت خاک است. به‌هنگام بحث درباره انواع هدررفت خاک، باید به روش‌های زراعی ردیفی[4] و پوششی[5] توجه نمود. همان‌گونه که از نام آن‌ها استنباط می‌گردد زراعت‌های ردیفی در مزرعه بر

---

* فرسایش مجاز خاک [Soil loss tolerance, (T value)]، حداکثر تلفات فرسایشی خاک که با حداکثر سرعت فرضی تشکیل خاک جبران و یا تعادلی بین این دو برقرار می‌شود.

1- Depletion
2- Leaching
3- Erosion
4- Row Crops
5- Cover Crops

روی ردیف‌هایی کشت می‌گردند که خاک بین دو ردیف کشت برهنه است. گیاهان زراعی مرسوم در این روش کشت (ردیفی) شامل ذرت، باقلا، گوجه‌فرنگی، تنباکو و... می‌باشند. در حالی‌که گیاهان زراعی مانند گندم، جو، یولاف، چاودار (جو دوسر)، شبدر، یونجه و انواع مختلف علوفه به عنوان زراعت‌های (گیاهان) پوششی نامیده می‌شوند.

در این قبیل زراعت‌ها تراکم کشت (بوته‌ها) باعث می‌گردد که توده ریشه‌های آن‌ها در هم آمیخته و خاک را در درون خود نگهداری نمایند. ضمن آن‌که بخش (اندام‌های) هوایی یا آسمانه آن‌ها در سطح زمین، خاک را در مقابل نیروهای فرساینده آب و باد محافظت می‌نماید. رابطه بین زراعت‌های ردیفی، پوششی و خاک در عملیات حفاظت خاک بسیار با اهمیت است.

- تهی شدن خاک از مواد معدنی

تا حدود ۱۵۰ سال پیش، در اکثر نقاط جهان به‌ویژه سرزمین‌های مهاجرپذیر، زمین‌های حاصلخیز فراوانی وجود داشته که می‌توانسته به‌صورت مالکیت یا اجاره‌ای در اختیار کشاورزان قرار گیرد. خاک‌های این مناطق سرشار از مواد غذایی بوده که طی زمان بر اثر فساد و تجزیه گیاهان بومی تکوین یافته بودند. در این نواحی، برای سالیان دراز، کشت غلات، ذرت، پنبه و دیگر گیاهان زراعی بدون آن‌که کاهش قابل‌ملاحظه‌ای در عملکرد رخ دهد صورت می‌گرفت. این دوره را می‌توان دوره تولید افزون بر نیاز[1] نامید. در این دوره، دیدگاه تولید بر برداشت حداکثر محصول در کوتاه‌ترین زمان استوار بود. پس از گذشت مدت زمانی نه چندان طولانی، کاهش حاصلخیزی خاک موجب کاهش عملکرد محصولات زراعی گردید. این پیامد نه‌تنها به‌عنوان یک هشدار تلقی نگردید و برای آن چاراندیشی نشد بلکه بهره‌برداران در استمرار عملیات کشت و کار راغب‌تر و حریص‌تر شدند تا جایی که زمین در نهایت از بهره‌دهی باز ماند. اراضی تهی‌شده رها گردیدند و هجوم به سمت زمین‌های حاصلخیز در مناطق دیگر شدت گرفت.

1- Overproduction

- نگاهی به مشکل تهی شدن خاک

تولید گیاهان زراعی با کیفیت مطلوب، به مواد معدنی موجود در خاک به‌ویـژه عناصـر پـر مصرف ازت، فسفر و پتاسیم بستگی دارد. در چرخه طبیعی، گیاهان عناصر معدنی خـود را از خاک دریافت و آن‌ها را در اندام‌های مختلف خود ذخیره می‌نمایند. پـس از آن‌کـه گیـاه دوره زیست خود را به پایان برساند، بقایـای گیـاهی از طریـق تجزیـه و فسـاد بـه خـاک برگردانده می‌شوند. لیکن هدف از کشت گیاهان زراعـی، برداشـت مـواد غـذایی از خـاک توسط گیاه است بدین‌سان، برعکس آنچه در طبیعت اتفاق می‌افتد، با برداشت محصولات کشاورزی، مواد معدنی خاک که طی دوره رشد به‌وسیله گیاهان از خاک برداشت شده‌اند از خاک خارج می‌شوند. با استمرار این فرآیند پس از مدت زمانی، آثار تهی شـدن بـه تـدریج آشکار می‌شود. یکی از راه‌های جبران این تهی شدن مصرف کودهای معدنی است افـزون بر کاربرد کودهای شیمیایی که روشی سریع برای جایگزینی مواد تهی‌شـده مـی‌باشـد، بـا اجرای برنامه‌های مدیریت زراعی به ویـژه اعمـال تنـاوب زراعـی[1] فرآینـد تهـی شـدن را می‌توان مدیریت کرد.

- اصول برنامه‌ریزی تناوب زراعی

گیاهان مختلف از نظر جذب مواد معدنی از خاک بسیار متفاوت می‌باشند. افـزون بـر ایـن، برخی گیاهان زراعی را باید به صورت ردیفی و برخی دیگـر را بایـد بـه صـورت پوششـی کاشت. کشاورزان، برای دو منظور جلوگیری از تهی‌شدن خاک و کنترل فرسایش، تنـاوب زراعی را اعمال می‌نمایند. بیشتر برنامه‌های تناوب زراعی مشتمل بر یک چرخش سه‌ساله است به‌گونه‌ای که در سال نخست زراعت ذرت، در سـال دوم گنـدم (غـلات) و در سـال سوم کشت شبدر یا سایر علوفه‌ها لحاظ می‌گـردد. شـبدر، یونجـه، لوبیـا و سـایر گیاهـان خانواده بقولات در تناوب‌های زراعی جایگاه ویژه‌ای دارند زیرا قادر بـه تثبیـت نیتـروژن از طریق باکتری‌های هم‌زیست با ریشه گیاهان می‌باشند. همان‌طـور کـه در مبحـث چرخـه نیتروژن گفته می‌شود، این باکتری‌های هم‌زیست قادر به تولید نیترات از نیتروژن اتمسـفر می‌باشند.

1- Crop Rotation

۱-۴- تهی شدن خاک ها از مواد معدنی و مسئله سلامت

در برخی موارد عبارتی به‌نام گرسنگی پنهان مطرح می‌گردد، این موضوع ممکن است برای هر موجودی بدون آن‌که خود مطلع باشد، اتفاق بیافتد. همگان باور دارند که سبزیجات، فرآورده‌های گوشتی و سایر مواد غذایی حاوی مقادیری مواد مغذی و معدنی ضروری در جیره غذایی می‌باشند. برای درک بهتر مطلب فرض کنیم که دو دسته هویج در اختیار است که یک دسته غنی از مواد معدنی و دسته دیگری که شباهت ظاهری بسیاری با دسته اول دارد، تنها دارای سلولز و آب باشد. این موارد مرتبط با آن است که گیاه هویج در چه نوع خاکی پرورش یافته باشد. گرسنگی پنهان نوعی گرسنگی است که احساس نمی‌شود. زیرا هر موجودی مقادیر قابل ملاحظه‌ای مواد غذایی و حجیم مصرف نموده لیکن نیاز سلول‌های بدن موجود زنده از محتوی مواد پروتئینی و معدنی مواد غذایی مصرفی برطرف نشده باشد.

- آب شویی مواد معدنی از نیمرخ خاک‌ها

خاک مزرعه را به‌طورمعمول قبل ازکشت شخم و سپس دیسک می‌زنند. این اقدامات فیزیکی برای تهیه بستر کشت، موجب مدفون شدن علف‌های هرز و آماده شدن مزرعه برای عملیات کشت می‌گردد. در این شرایط هرگاه بارندگی رخ دهد، قطرات باران به‌راحتی از میان توده خاک شخم خورده عبور کرده و آن لایه را مرطوب می‌سازد. این فرآیند برای گیاهچه‌های جوان ممکن است مطلوب باشد، لیکن برای خاک‌هایی با بافت لومی‌شنی[1] ممکن است موجب خسارت جدّی گردد. بدین دلیل هرگاه لایه سطحی خاک با دقت مراقبت گردد، به‌طور اصولی می‌تواند غنی از مواد معدنی باشد. این مواد معدنی باید در آب حل گردند تا این‌که گیاه بتواند آن‌ها را جذب کند. آب در حین عبور از لایه سطحی خاک (نفوذ یا تراوش عمقی)، مواد معدنی محلول را ضمن حل نمودن به لایه‌های زیرین انتقال می‌دهد و بدین ترتیب از دسترس ریشه گیاهان خارج می‌گردند. طی این فرآیند (آبشویی) مواد غذایی و ارزشمند موردنیاز رشد گیاهان از گستره رشد ریشه‌ها خارج می‌شوند. در باور عمومی، زراعت متوالی گیاهان زراعی مطلوب است لیکن در واقعیت، این چنین نیست. در گیاهان ردیفی حدفاصل دو ردیف کشت در معرض دریافت قطرات باران است و بدین دلیل یکی از راهکارهای کاهش آبشویی مواد

1- Sandy Loam

معدنی اجرای عملیات حداقل خاک‌ورزی[1] برای تهیه بستر کشت می‌باشد. رویه دیگری در این خصوص، کشت گیاهان پوششی بین ردیف‌های کشت گیاهان ردیفی می‌باشد، گیاهان ریشه عمیق مانند یونجه قادر به جذب مواد معدنی از لایه‌های زیرین نیمرخ خاک و بازگرداندن مواد معدنی آبشویی شده به اندام‌های گیاهی می‌گردد و هرگاه این قبیل گیاهان با عملیات شخم به زیر لایه سطحی خاک برگردانده شود، مواد معدنی موردنظر دوباره به لایه سطحی خاک بازگردانده می‌شوند.

- هدررفت مواد آلی خاک

در شرایط طبیعی مواد آلی موجود در لایه سطحی خاک به آهستگی به‌وسیله باکتری‌ها و سایر موجودات خاک‌زی تجزیه می‌گردند. هرگاه مواد آلی خاک از بقایای برگ‌ها، ریشه‌ها و سایر اندام‌های گیاهی تأمین و یا جایگزین نگردد، خاک لایه سطحی از نظر مواد آلی فقیر خواهد شد. به‌هرحال هرگاه کلش گیاهان هم برداشت شود و یا بقایای غلات (گندم، جو، یولاف و چاودار) به‌عنوان کاه مورد استفاده قرار گیرد، تنها مقادیر کمی بقایای گیاهی به‌عنوان ماده آلی به خاک افزوده خواهد شد. متأسفانه گاهی علف‌های هرز و بومی مزارع را پیش از عملیات شخم می‌سوزانند. در اثر این عمل نادرست مواد آلی تولید شده به آسانی از دست می‌رود حال آنکه روش صحیح آن است که آن‌ها را با شخم یا دیسک زدن به زیر خاک برد.

هرگاه سطح مزارع به‌طور فصلی و یا دوره‌ای پاک‌سازی شود، بخش مواد آلی لایه سطحی خاک ممکن است به‌طور کامل از بین رفته به‌طوری که مجموعه گیاهان خاک[2] از بین برود. با از بین رفتن این موجودات خاک‌زی، اکثر فرآیندهای لازم برای حفظ و بقای حاصلخیزی خاک متوقف خواهد شد.

روش‌های گوناگونی برای افزایش مقدار مواد آلی خاک وجود دارد، یکی از این راهکارها افزودن کود دامی و کلش پوسیده است. حتی روش مناسب‌تر از آن، کشت بعضی انواع علوفه از جمله شبدر و سپس برگرداندن آن به خاک لایه سطحی به‌عنوان کود سبز می‌باشد.

1- Minimum Tillage
2- Soil Flora

۱-۵- فرآیند هدررفت خاک لایه سطحی

از میان کلیه روش‌های هدررفت خاک، فرسایش پیشرفته و مخرب‌ترین آن‌ها می‌باشد. خاک لایه سطحی میلیون‌ها هکتار از زمین‌های ارزشمند و مولد کره زمین اینک به شکل رسوب در بستر رودخانه‌ها و یا کف اقیانوس‌ها انباشته گردیده و یا در بعضی موارد هزاران کیلومتر دورتر از محل اولیه به‌وسیله فرسایش بادی انتقال یافته است. این رخدادها نتیجه انکارناپذیر بی‌توجهی وکوتاه‌نگری انسان‌های بهره‌بردار از زمین‌های حاصلخیز و پر برکت می‌باشد.

بعضی انواع فرسایش همیشگی می‌باشند که بدین‌وسیله مقادیری از خاک شسته و یا از محل اولیه جابه‌جا می‌گردد، لیکن سرعت این عمل آهسته است و امروزه آن را باعنوان فرسایش زمین‌شناختی[1] می‌نامند. این نوع فرسایش حتی پیش از آن‌که زمین، مورد بهره‌برداری قرار گیرد نیز وجود داشته و از عوامل اصلی تشکیل‌دهنده خاک‌ها است. لیکن هرگاه زمین از پوشش گیاهی طبیعی پاک‌سازی شود و به‌طریق غیرمطلوب مورد کشت و مدیریت قرار گیرد و آن‌گاه در معرض اعمال نیروهای آب و باد واقع شود، نوع فرسایش خطرناک‌تر دیگری شکل خواهد گرفت که به آن فرسایش شتابی یا تشدیدی[2] گویند.

بیشتر زمین‌هایی که در حال حاضر به حالت بسیار زیادی فرسایش یافته و یا فرسوده شده‌اند، زمین‌هایی می‌باشند که بر اثر پدیده تهی‌شدن، به‌صورت کشت‌نشده در گذشته رها گردیده بودند. مهمترین دلیل تهی‌شدن خاک‌های این نواحی، بهره‌برداری بیش از اندازه[3] از زمین بوده است. با توسعه سریع کشاورزی صنعتی، روند استفاده از زمین برای تولید محصولات کشاورزی تسریع گردید به‌گونه‌ای که کشاورزان به‌جای کوشش برای افزایش عملکرد محصولات در زمین‌هایی که مورد کشاورزی متعارف بودند اقدام به اجرای عملیات کشاورزی (زراعی و باغی) در مناطق کوه‌پایه‌ای، حریم و بستر رودخانه‌ها و سایر مناطقی که در دسترس بود، نمودند. به‌عنوان نمونه می‌توان به زمین‌های جنگلی شیب‌دار، که زیستگاه درختان بلوط و گردوی گرمسیری بوده که در خاک‌های با لایه سطحی کم عمق استقرار یافته بودند، اشاره نمود. این گونه گیاهان بومی پاک‌سازی گردید

1- Geological Erosion
2- Accelerated Erosion
3- Over Cultivation

تا حتی از این قبیل زمین‌ها نیز برای توسعه کشاورزی بهره‌برداری شود. روشن است که این نوع زمین‌ها زیستگاه بسیار مناسبی برای درختان جنگلی و خاک‌هایی نامطلوب برای کشاورزی (امور زراعی) می‌باشند. چنین زمین‌هایی زودتر مورد هجوم فرسایش قرار گرفته و توانمندی تولید خود را از دست داده و به مزارعی تبدیل گردیدند که حتی کفاف سد جوع چند خانوار کشاورز باقی‌مانده را نیز به زحمت آن هم از طریق تولید محصول کم و بی‌کیفیت تأمین نمی‌نمودند.

۱-۵-۱- فرسایش آبی

یکی از شکل‌های فرسایش آبی[1] ، فرسایش ورقه‌ای[2] است که به‌دلیل استغراق آب حاصل از سیلاب‌ها بر روی زمین (حالت ایستابی) و تخلیه تدریجی آن به‌صورت جریان‌های سطحی رخ می‌دهد. زیرا در هنگام استغراق آب برروی سطح زمین، ورقه‌ای از خاک به صورت محلول با آب در آمده و در موقع تخلیه تدریجی و آهسته، ذرات خاک را نیز به همراه خود حمل می‌کند. تکرار چنین فرآیندی موجب خواهد شد که آنچه از زمین برجای می‌ماند مشابه مواد خنثی و تشکیل‌دهنده لایه زیرین خاک است. استمرار این‌گونه وقایع باعث تبدیل زمین‌ها به خاک‌های بی‌ارزش می‌گردد.

در بخش‌های موج‌دار و شیب‌دار زمین که باران بر روی خاک‌های برهنه (بدون پوشش گیاهی) ریزش می‌نماید قطرات باران* موجب حل شدن ذرات خاک و ایجاد مجاری کوچک یا شیارهای کم عرض و کم عمق می‌گردد که به تبعیت از شیب زمین از مناطق مرتفع‌تر به سمت محل‌های با شیب کمتر امتداد دارند این حالت شروع ایجاد فرسایش شیاری[3] می‌باشد. زیرا هرگاه جریان آبی به پیروی از شیب زمین شکل گیرد، مسیر آن همان شیار ایجاد شده قبلی است. این شیارها با توجه به افزایش مقدار جریان باعث تعریض و تعمیق جدار و بستر آبراهه (شیار) می‌گردند** این فرآیند ممکن است به حالت بسیار پیشرفته درآید که به آن

1- Water Erosion

2- Sheet Erosion

* نوعی فرسایش که بر اثر برخوردهای قطرات باران ایجاد می‌شود، فرسایش پاشمانی (Splash erosion) نام دارد.

3- Rill Erosion

** فرسایش بین شیاری (Interrill erosion)، جابه‌جایی لایه‌ای نسبی یکنواخت خاک به مقدار زیاد از ناحیه‌ای کوچک به سبب برخورد قطره‌های باران با خاک و همچنین به واسطه جریان نازک آب.

فرسایش گودالی یا خندقی[1] گفته می‌شود. فرسایش خندقی در صورتی که کنترل نشود می‌تواند ایجاد آبراهه‌هایی بسیار عمیق و کم عرض کند. از بروز و توسعه این‌گونه عوارض فیزیکی حتی در زمین‌های زراعی شیب‌دار و یا کوه‌پایه‌ای نیز می‌توان مشروط به اجرای برنامه‌های علمی حفاظت خاک جلوگیری به‌عمل آورد.

- زراعت هم تراز

هرگاه عملیات تهیه بستر کشت (شخم، دیسک زدن و...) در جهت شیب زمین صورت گیرد، جویچه‌های ایجاد شده نقش شیار را ایفا نموده و پدیده فرسایش شیاری آغاز می‌گردد. بدین ترتیب آب حاصل از بارندگی (رواناب) از طریق جویچه (شیار)های ایجاد شده جریان می‌یابد که تکرار آن موجب تعریض شیارها می‌گردد به‌گونه‌ای که طی زمانی کوتاه شیارها تبدیل به خندق خواهند شد. راه‌حل جلوگیری از این رخداد، اجرای عملیات فیزیکی تهیه بستر کشت در جهت عمود بر شیب زمین‌ها است. این راه‌کار را زراعت هم‌تراز[2] می‌نامند. در این شرایط هرگاه جویچه‌ها (شیارها) عمود بر شیب ایجاد شوند هر جویچه حالت سد کوچکی را در مقابل جریان آب خواهد داشت و بدین ترتیب آب‌های جمع شده در شیارها (جویچه‌ها) فرصت کافی و لازم را برای نفوذ به درون نیمرخ خاک خواهند داشت. درصورتی‌که این اقدام ساده در گذشته به‌انجام می‌رسید اینک زمین‌های ما از مواد معدنی غنی‌تر و رودخانه‌هایمان عمیق‌تر بوده و جریان آب در آن‌ها گل‌آلود نبود.

- زراعت نواری

زراعت نواری[3] یکی از مؤثرترین شیوه‌های عملیات حفاظت از خاک‌ها می‌باشد و دو عمل مهم را انجام می‌دهد. در نوارهای پهن[4] عملیات کشت، برروی خطوط هم‌تراز زمین‌های شیب‌دار برای کشت گیاهان ردیفی مانند ذرت، پنبه، سیب‌زمینی و یا باقلا مورد استفاده قرار می‌گیرند و فاصله بین ردیف‌های کشت نواری برای زراعت گیاهان پوششی مانند گندم، جو،

1- Gully Erosion
2- Contour Farming
3- Strip Cropping
4- Broad Strips

یولاف، شبدر، یونجه و یا سایر گیاهان علوفه‌ای اختصاص می‌یابد. این گیاهان زراعی پوششی، ضمن پوشش کامل سطح خاک‌ها، آن‌ها را در مقابل عوامل زیان‌بار مصون می‌نماید. بدین ترتیب هرگاه جریان آب در نوارهای کشت ردیفی سرریز نماید، بر روی خاک‌های مورد زراعت گیاهان پوششی (نوارهای پهن یا عریض) پخش خواهد شد. در اکثر شرایط شبدر به عنوان گیاه پوششی انتخاب می‌گردد و بدین ترتیب نوارهای موجود در یک مزرعه نیز می‌توانند مورد برنامه‌ریزی تناوب زراعی قرار گیرند. باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن که به‌صورت هم‌زیست با ریشه گیاهان زراعی مانند شبدر، یونجه و سایر گیاهان خانواده بقولات باعث بازگشت ترکیبات مختلف نیتروژن به خاک خواهند شد. نوارهای زراعی را می‌توان با تناوب چندساله تغییر داد. لیکن به هرحال در نتیجه اجرای این روش زراعت، مسئله فرسایش خاک به‌طورکامل در کنترل دایم بوده و درجه حاصلخیزی خاک نیز حفظ می‌گردد.

- تراس بندی

این روش حفاظت خاک (تراس بندی)[1] برای کنترل جریان آب در زمین‌های با شیب تند به صورت متداول به‌کار گرفته می‌شود. در این روش یک مسیر با شیب تند به‌وسیله یک سری پشته به تعدادی قطعات شیب‌دار تفکیک می‌گردد. سپس به‌وسیله نوعی ماشین، عملیات تراس‌بندی به‌گونه‌ای انجام می‌شود که عرض بین دو پشته شیب‌دار به صورت نواری مسطح بر روی خطوط تراز در طول نوار ایجاد شود. بدین ترتیب هر نوار به‌وسیله پشته‌ای (خاک‌ریزی) از دیگر نوارها تفکیک می‌گردد. نهرچه‌های زهکشی احداث شده در سمت پایین‌دست پشته، آب را به اطراف شیب زمین هدایت می‌نماید.

- کنترل گودال یا خندق‌ها

هرگاه فرسایش گودالی یا خندقی منجر به ایجاد خندق‌های بزرگ گردد، عملیات حفاظتی دیگری و متفاوت با آنچه پیش‌تر گفته شده باید به مرحله اجرا درآید. یکی از راه‌کارهای مؤثر در این خصوص کشت درختان، گیاهان علوفه‌ای و یا سایر انواع گیاهانی است که می‌توانند از تعریض بیشتر گودال‌ها جلوگیری نماید. این اقدامات باید بر روی بخش‌های

1- Terracing

شیب‌دار خندق یعنی دیواره‌ها و بستر آن (در صورت امکان) اعمال گردد. از تعمیق این قبیل آبراهه‌های گودالی یا خندقی با احداث یک سری سدهای کوچک در طول مسیر آن و در مناطق مشخص می‌توان جلوگیری نمود. این نوع سدهای کوچک در درجه نخست موجب کاهش سرعت جریان آب رواناب می‌گردند و به‌تدریج خاک کف خندق‌ها را از طریق انباشتن رسوبات پر می‌نمایند.

۱-۵-۲- مشکل فرسایش بادی و کنترل آن

فرسایش بادی[1] یکی از عوامل موثر و بحرانی در مناطق خشک است. زیرا وزش بادهای تند و از جهات بخصوص، به‌طور عمده در اواخر فصل بهار، ایام تابستان و اوایل فصل پاییز اتفاق می‌افتد. در شرایط عادی، پوشش گیاهی (علوفه‌ای یا بوته‌ای) موجود می‌تواند از راه ریشه‌های متراکم لیکن سطحی (کم عمق) ذرات خاک را در محل به‌صورت پیوسته نگهداری نماید. مقادیر قابل توجهی از این قبیل زمین‌ها با درجه حاصلخیزی مطلوب تناسب لازم برای زراعت غلات را دارا می‌باشند. بدین دلیل، بخش اعظم این زمین‌ها با اجرای عملیات شخم، برای اهداف بهره‌برداری در کشاورزی مورد استفاده قرار گرفته است.

به‌طورمعمول در فصل بهار و حتی اوایل ماه‌های تابستان ممکن است خاک دارای ذخیره رطوبتی کافی باشد، لیکن در اواخر فصل تابستان که زمین خشک است وزش بادهای تند و گرم می‌تواند منتج به فرسایش لایه سطحی خاک گردد. تکرار این پدیده موجب تسریع در فرآیند فرسایش خاک‌ها می‌گردد. حتی در شرایطی خاک‌دانه‌های ریز در سطح مزرعه نیز می‌تواند در اثر طوفان-های بادی شدید از محل خود به سایر مناطق حتی دوردست انتقال یابد. بدین ترتیب مزارع بارده کنونی تبدیل به مناطق بیابانی و فرسوده می‌گردند. حتی آن قبیل کشاورزانی که اراضی آن‌ها مورد فرسایش قرار نمی‌گیرد توانایی کافی برای توقف انتقال چندین تن خاک را که همه ساله از مناطق دیگر بر روی سطح زمین‌ها ته‌نشین می‌شوند، ندارند. تشدید این فرآیند موجب خواهد شد که حتی نواحی مسکونی در چنین مناطقی تا نیمه در ماسه مدفون گردد و کشاورزان چاره‌ای جز

1- Wind Erosion

رها کردن روستاها و مهاجرت به سایر مناطق را نخواهند داشت. این وقایع ناشی از اثرات فرسایش بادی در مقیاس کلان است.

کنترل فرسایش بادی بدین‌دلیل مشکل است که عرصه متأثر از آن دراغلب‌موارد بسیار گسترده می‌باشد. زیرا هرگونه اقدامی برای کنترل موضعی فرسایش بادی، بر اثر وقوع اولین طوفان بادی غیرکارآمد خواهد شد. در نتیجه بهتر آن است که عملیات و برنامه‌ریزی برای کنترل فرسایش بادی در مقیاس بسیار وسیع از طریق سازمان‌های ملی و ناحیه‌ای انجام شود. یکی از راه‌کارهای مناسب، ایجاد بادشکن‌ها[1] و یا کمربندهای حفاظتی[2] می‌باشد. تجربیات گسترده‌ای برای یافتن درختانی که بتوان با غرس آن‌ها در چند ردیف متوالی، نیروی باد را کم اثر نمود به انجام رسیده است. علاوه بر بادشکن‌ها ایجاد نوعی پوشش گیاهی برای حفظ خاک نیز ضروری است. به‌عنوان یک اصل کلی باید متذکر شد که هر لکه‌ای از زمین که مورد بهره‌برداری قرار نمی‌گیرد نیز باید به‌وسیله کاشت گیاهان علوفه‌ای و یا سایر گیاهان پیونددهنده ذرات خاک محافظت شود.

در مناطق بادخیز که انجام امور زراعی در آن‌ها معمول است، برای احداث جویچه‌های کشت، جهت آنها باید عمود بر سمت باد غالب منطقه باشد و بدین ترتیب با احداث جویچه‌ها باد موجب فرسایش نگردیده بلکه جویچه‌ها را قطع می‌نماید و بدین ترتیب هر جویچه باعث توقف حرکت ذرات خاک می‌شود. در مناطقی که عملیات آبیاری[3] در آن‌جا امکان‌پذیر است، هدایت آب به سمت مزارع در طول ایام خشک سال زیر کنترل فرسایش بادی مؤثر است. زیرا خاک‌های مرطوب جابه‌جا نمی‌شوند.

- مسایل سازمانی و تشکیلاتی حفاظت خاک

یکی از قدیمی‌ترین ارگان‌های حفاظت خاک، سرویس حفاظت خاک آمریکا[4] است که به اختصار SCS نامیده می‌شود و در سال ۱۹۳۵ به‌منظور حفاظت خاک‌های آمریکا تأسیس گردید. از همان زمان نیز برنامه‌های فشرده‌ای را برای حفاظت خاک‌های کشور آغاز

1- Windbreaks
2- Shelterbelts
3- Irrigation
4- Soil Conservation Service

نمود*. بلافاصله پس از پایه‌ریزی، این تشکیلات، متخصصین و کارشناسان مهندسی زراعی (مهندسی کشاورزی) آن نسبت به‌انجام کاوش‌های همه‌جانبه‌در مورد مسایل حفاظت خاک اقدام نمودند. در مراحل اولیه نسبت به بازدیدهای مسافرتی و گسترده در کشور اقدام نموده و انواع مسایل و مشکلات مترتبه را بررسی و نسبت به‌اعمال مساعدت‌های لازم اهتمام نمودند. با ایجاد پایگاه‌ها (عرصه‌های) نمایشی کشاورزان این فرصت را یافتند تا ضمن بازدید، نظرات فنی و توصیه‌های قابل توجه و لازم به اجرا را به‌طور عملی مشاهده نمایند. هرگاه گروه‌هایی از کشاورزان، مشتاق به‌اجرای بعضی از برنامه‌ها می‌گردیدند، ابتدا ضرورت داشت تا با مشخص کردن حوضه یا عرصه‌ای عملیات لازم را تحت نظارت کارشناسان حفاظت خاک محلی به مرحله اجرا درآورند. بدین ترتیب کارشناسان سرویس حفاظت خاک با کمک مقامات محلی یا ناحیه‌ای، ضمن همکاری در اجرای پروژه‌ها، روش‌های مناسب را برای رفع مسایل بررسی و توصیه نمایند.

در کشور ما این وظیفه در شرح وظایف مؤسسه تحقیقات خاک و آب منظور شده بود لیکن درحال حاضر مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، وابسته به وزارت جهاد کشاورزی این امور تحقیقاتی را در قالب طرح‌های تحقیقاتی ملی و یا منطقه‌ای انجام می‌دهد.

۱-۶- مسایل توامان خاک و آب (چرخه‌ای همتافت در طبیعت)

سیلاب‌های مخرب و خشک‌سالی‌های شدید، دو حالت بسیار بحرانی از مسایل آب محسوب می‌گردند، که منتج از کاربرد غیراصولی خاک و نابودی پوشش گیاهان طبیعی می‌باشند. بارانی که باید در زمین نفوذ کرده و در ایام خشک به مصرف ریشه گیاهان برسد، در اکثر حالت‌ها به صورت رواناب سطحی[1] برروی سطح زمین‌های فرسایش یافته به حالت جریان‌های تند جاری می‌گردد. جریان‌های سیلابی آن‌هم به شکل گل‌آلود، از طریق عبور از روی مزارع هم جوار شکل می‌گیرند. در این شرایط مقادیر قابل‌ملاحظه‌ای آب وجود خواهد داشت. در فصل یا فصول بعدی گیاهان ممکن است در معرض نابودی قرار گیرند. زیرا ذخیره‌ای از آب در زمین وجود ندارد و کلیه ریزش‌های آسمانی به‌صورت

* نام فعلی آن "سرویس حفاظت منابع طبیعی" یا به اختصار NRCS می‌باشد.

1- Surface Runoff

سیلاب از دسترس خارج شده‌اند. هم‌چنین به‌دلیل وقوع سیلاب خاک‌ها مورد فرسایش و روراندگی به مناطق دوردست قرار دارند و آنچه از خاک لایه سطحی باقی می‌ماند در فصول خشکی سال در معرض فرسایش بادی و انتقال ذرات خاک به نواحی دیگر است.
فرسایش خاک، وقوع سیلاب و پدیده خشک‌سالی سه معضل مهم در چرخه همتافت در طبیعت به شمار می‌آیند. بنابراین اگر قادر باشیم مسایل فرسایش خاک را کنترل و یا تعدیل نماییم، به‌طریق غیرمستقیم قادر به اصلاح مشکلات مرتبط با آب نیز بوده‌ایم.
با ملاحظه برش عرضی مجاری آب‌بر طبیعی (رودخانه‌های دایمی، فصلی و یا مسیل‌ها) موجود در دشت‌ها و جلگه‌های وسیع هر حوضه آبخیز (حوضه زهکشی سطحی منطقه)، ملاحظه خواهد شد که در گذشته سطح آب در این نوع آبراهه‌ها بسیار قابل‌ملاحظه، عادی (نرمال) و گاه حداقل (حتی کم‌تر از میزان جریان پایه در رودخانه‌های دایمی) بوده است. هم‌چنین مروری بر آمار و اطلاعات موجود نمایان‌گر آن است که در گذشته بخش‌هایی از هر منطقه یا کشور شاهد وقوع خشک‌سالی‌های بلندمدت و شرایط اقلیم بیابانی بوده است. این پدیده‌ها در درجه نخست مرتبط با پراکنش غیریکنواخت باران در طول سال است. لیکن به‌هرحال، از این واقعیت نیز نباید چشم‌پوشی کرد که آنچه در حال حاضر وجود دارد، به‌طور یقین مربوط به اشتباهات مکرر نسل‌های گذشته است.

- چرخه آب در طبیعت

چرخه آب[1]، فرآیند دایمی حرکت آب از نیوار (جّو) به زمین و همین‌طور از زمین به نیوار می‌باشد. حرکت چرخه آب از اتمسفر به زمین به‌صورت ریزش‌های آسمانی[2] است. بدیهی است مقادیر آب ریزش شده سرانجام به شکل تبخیر[3] و یا تعرّق به اتمسفر باز می‌گردد. هرگاه بارندگی آغاز گردد، جزیی از آب در حین ریزش تبخیر گردیده و یا بلافاصله پس از قرار گرفتن برروی سطح زمین تبخیر می‌شود.
مقادیر قابل ملاحظه‌ای از این آب باران به صورت رواناب برروی سطح زمین جریان یافته و به سامانه زهکش‌های طبیعی[4] منطقه وارد می‌گردد. این میزان رواناب (سطحی) از

1- Water Cycle
2- Precipitation
3- Evaporation
4- Natural Drainage Systems

طریق مجاری آب‌بر طبیعی (شیارها، نهرچه‌های کوچک و رودخانه‌ها) و در شرایطی به سمت گودال‌های موجود، دریاچه‌ها (و باتلاق‌ها) و یا دریاها و اقیانوس‌ها تخلیه و یا ذخیره می‌گردد. در هر حال آب به صورت مستمر (دایمی) از سطح این نوع سامانه‌های زهکشی و یا مخازن سطحی به صورت تبخیر به نیوار باز می‌گردد. هم‌چنین بخش عمده‌ای از ریزش‌های آسمانی در شرایط عادی به درون نیمرخ خاک نفوذ کرده و تشکیل آبخوان‌های زیرزمینی[۱] را می‌دهد. این قبیل آب‌ها (زیرزمینی) به وسیله چشمه‌ها[۲] و یا جریان آب‌های زیرزمینی به سامانه زهکشی وارد شده و یا از طریق خیز مویینه‌ای از نیمرخ خاک (حرکت پایین به بالا) در ایام خشک سال به صورت بخار آب[۳] به اتمسفر بر می‌گردد. در این شرایط بزرگترین مشکل یا مسئله حفاظت از آب کاهش میزان رواناب سطحی می‌باشد، که هم زمان می‌تواند موجب افزایش میزان ذخیره آب‌های زیرزمینی گردد.

- ریزش‌های آسمانی

بخار آبی که از کره زمین به اتمسفر می‌رسد، پس از تجمع و تراکم بخارها به صورت ابر در می‌آید. این مه‌ها یا غبارها پس از تغلیظ و تراکم بیشتر به صورت قطرات آب در می‌آیند. بدین ترتیب قطرات فرو ریخته از ابرها به‌عنوان باران[۴] دانسته می‌شود. هرگاه، قطرات آب در فرایند بارش (نزول) یخ زده شوند، و بدین‌صورت به سطح زمین ریزش نمایند برفک یا باران یخ زده[۵] نامیده می‌شوند. در بعضی اوقات حرکت رو به بالای باران یخ زده (برفک) در اثر نیروهای قابل توجه باعث ایجاد لایه‌های انباشته یخ در اطراف قطرات یخ بسته می‌گردد. که بدین‌صورت آن‌ها را تبدیل به تگرگ[۶] می‌نماید. برف[۷] حالت حالت یخ بسته و کریستاله شدن غبار (مه) می‌باشد که به صورت آرام بروی سطح کره زمین ریزش می‌نماید.

1- Groundwater
2- Springs
3- Water Vapor
4- Rain
5- Sleet
6- Hail
7- Snow

- آب‌های زیرزمینی

خاک لایه سطحی به‌عنوان مخزنی متخلخل برای دریافت و نگهداری آب در فرایند ریزش‌های آسمانی عمل می‌کند. هرگاه بخش سطحی نیمرخ خاک به حالت اشباع[1] درآید، آب به لایه‌های زیرین نفوذ می‌کند. بدین‌ترتیب در اطراف صخره‌ها و سنگ‌ها و یا سایر فضاهای خالی توده خاک نگهداری می‌شود. مقادیری از آب‌های نفوذی یا تراوشات عمقی آب باز هم به سمت لایه‌های پایین‌تر حرکت کرده تا سرانجام به سطح ایستابی[2] بپیوندد. عمق استقرار سطح ایستابی تابع مقدار باران، شرایط سطح خاک برای دریافت آب و وضعیت طبیعی صخره، سنگ، لایه‌های رسی و سایر مواد سازنده لایه‌های زیرین نیمرخ خاک می‌باشد. در شرایط وجود گودال‌هایی مانند حوضه دریاچه‌ها و مخازن آب سطحی، سطح ایستابی مرتفع‌تر از سطح آن‌ها می‌باشد. در مناطق کوه‌پایه‌ای یا شیب‌دار آب زیرزمینی ممکن است توسط طبقه‌ای صخره‌ای (سنگی) متوقف گردیده و یا به تبعیت از وضعیت قرار گرفتن آن (لایه متوقف کننده) به‌صورت جانبی در اطراف تپه یا مناطق شیب‌دار حرکت نماید و سپس از مجرایی به صورت چشمه ظاهر می‌شود.

چاه‌های سنتی که توسط انسان حفر می‌گردد[3]، حفره‌هایی عمودی می‌باشند که تا سطح ایستابی امتداد می‌یابند. بنابراین هرگاه در ادوار خشکی سطح ایستابی افت نماید، این قبیل چاه‌ها ممکن است خشک و بدون آبدهی گردند. لیکن چاه‌هایی که به صورت غیرسنتی حفاری[4] می‌گردند اغلب عمیق یا نیمه‌عمیق بوده که تا عمقی حفاری می‌شوند که از خطرات متأثر از زهکشی سطحی زمین‌های محدوده مربوطه مصون بمانند. لیکن احداث (حفاری) این قبیل چاه‌ها در شرایط متعارف پرهزینه می‌باشند.

- حرکت آب‌های زیرزمینی

به‌راستی چرا گیاهان در دوره تناوب بین دو بارندگی پژمرده نمی‌شوند؟ یکی از دلایل آن حرکت آب (رطوبت) از سطح ایستابی به افق‌های بالا بر اثر پدیده خیز موئینه‌ای است و بدین‌وسیله بخش قابل‌توجهی از این میزان آب به‌وسیله ریشه گیاهان جذب و توسط

1- Saturated
2- Water Table
3- Dug Wells
4- Driven Wells

فرایند تعرّق[1] به اتمسفر باز می‌گردد. قسمت دیگری از آن به سطح زمین رسیده و در اثر پدیده تبخیر[2] باز هم به اتمسفر رجعت می‌نماید. این گونه حرکت پایین به بالای آب (رطوبت) در نیمرخ خاک از محل سطح ایستابی، بخش بسیار مهمی از چرخه آب در طبیعت می‌باشد.

- تهی شدن یا کاهش منابع آب زیرزمینی

سطح ایستابی در اکثر مناطق از جمله بخش قابل توجه‌ای از گستره کشورمان در حال پایین رفتن (افت) آن‌هم به‌طور بسیار قابل‌ملاحظه و خطرناکی می‌باشد. این مورد پیامد چشمگیر افزایش میزان هدررفت آب به صورت رواناب سطحی فصول بارانی است. افزون بر آن، افزایش بهره‌برداری از منابع آب‌های زیرزمینی برای اهداف کشاورزی، مصارف شهری، کاربردهای صنعتی و سایر منابع مصرف می‌باشد. به‌عنوان نمونه، حفر تعداد زیادی چاه آن‌هم با برداشت‌های زیاد تنها برای مصارف شهری، ضرورت حفاری و بهره‌برداری داشته است. به‌همین ترتیب، مصرف آب در بخش صنعتی نیز افزایش قابل توجهی دارد. در کلان شهرها، تأمین آب مورد نیاز در بیشتر شرایط از طریق تصفیه آب‌های سطحی موجود در رودخانه‌های دایمی، دریاچه‌های آب شیرین و یا مخازن ذخیره‌ای[3] تأمین می‌گردیده است. به‌هرحال در سال‌های اخیر، اکثر شهرهای بزرگ از طریق شبکه آبرسانی شهری که متکی بر برداشت از منابع آب‌های زیرزمینی است، برای ایجاد سرمایش در هوای گرم از آب به‌طور چشم‌گیری استفاده می‌نمایند. زیرا این قبیل آب‌ها پس از مصرف از طریق شبکه فاضلاب[4] شهری به آب‌های سطحی افزوده می‌شوند، به‌دلیل آن‌که امکان تخلیه آن‌ها به منابع آب زیرزمینی که از آب آن محل، برداشت شده‌اند یا امکان‌پذیر نبوده و یا اقدامی بسیار پرهزینه و تخصصی است.

1- Transpiration
2- Evaporation
3- Reservoirs
4- Sewer System

- رواناب سطحی

در بیشتر مناطق جهان اعم از، اقالیم نیمه مرطوب، نیمه خشک و خشک مسئله بحران آب (با درجات متفاوت) حل نخواهد شد مگر آن‌که برای کاهش هدررفت آن به صورت رواناب سطحی، رویه‌ای علمی، منطقی و جدّی چاره‌اندیشی شود. برای دست‌یابی به این مهم، دو راه‌کار باید همواره مورد نظر باشد: اصلاح اشتباهات پرهزینه گذشتگان و حفظ شرایط طبیعی (ذاتی) فعلی منابع فیزیکی تولید و عوامل گیاهی باقیمانده که هم چنان در اختیار می‌باشد.

اکنون باید تجسّم کنیم که چنانچه بارندگی رخ دهد، چه اتفاقاتی می‌افتد؟ مقادیر بارندگی که در مناطق مسطح ریزش می‌نماید ابتدا به وسیله پوشش گیاهی موجود متوقف گردیده و سپس به صورت قطراتی به سطح زمین می‌رسد. بخش عمده‌ای از آب که به سطح زمین می‌رسد به صورت آب‌های زیرزمینی درمی‌آید و تنها در مواقعی که خاک قادر به پذیرش آب‌های ورودی نباشد، آب به صورت رواناب سطحی برروی زمین جاری و یا در گودال‌ها (حوضچه‌های طبیعی) ذخیره می‌شود. در مناطق کوهستانی و یا کوه‌پایه‌ای، با عنوان حوضه آبخیز[1] نامیده می‌شوند. مقادیری از آب در لایه‌سطحی خاک نفوذ می‌نماید، که توسط درختان و یا سایر پوشش‌های گیاهی محافظت می‌گردند. مقادیر زیادی از آن از راه آبراهه‌های فرعی به صورت جریان‌های سطحی و به تبعیت از شیب حوضه به آبراهه (های) اصلی می‌پیوندند. این قبیل آبراهه‌ها نیز جریان‌های دریافتی را به رودخانه‌ها هدایت (تخلیه) می‌نمایند. هرگاه سطح آب در رودخانه‌ها بیش از حد متعارف افزایش یافت، جریانهای ورودی سرریز نموده و از طریق آبراهه‌های طبیعی و یا ساخته شده برروی سطح زمین‌های دشت و یا جلگه پخش می‌گردد. بخش اعظم آب سیلاب در مرداب و یا باتلاق‌ها نگهداری و یا به صورت جریان‌های پساب (آب پس‌زده[2]) در می‌آید، هم‌زمان با فروکش کردن سطح آب (بحرانی)، سیلاب آب‌های قرار گرفته برروی سطح زمین‌ها (دشت و جلگه) به طرف آبراهه‌ها و یا کانال‌ها، جریان معکوس (متفاوت با پخش سیلاب برروی سطح زمین‌ها) می‌یابند. پس از پایان دوره بارندگی، مقادیر آب نگهداری شده در باتلاق‌ها و مرداب‌ها، به‌همراه آب‌های پس‌زده شده و تعداد زیادی چشمه (که در حالت عادی جریان‌های سطحی را تغذیه می‌نماید) موجب نگهداری و جریان

1- Watershed
2- Backwater

آب (دایمی یا فصلی) در رودخانه‌های حوضه آبخیز می‌گردد. بدین‌ترتیب آب‌های زیرزمینی و مخازن سطحی ذخیره آب طبیعی که در ایام بارندگی مقادیر قابل‌ملاحظه‌ای آب اضافی را دریافت و ذخیره نموده‌اند، در ایام خشک آب مورد نیاز را عرضه (تأمین) می‌نمایند.

موارد بیان شده به تناوب در مناطقی که بدون درختان جنگلی و یا گیاهان علوفه‌ای با ارتفاع قابل ملاحظه است، اتفاق می‌افتد. زیرا در این شرایط، عوامل گیاهی که قادر به نگهداری حتی کوتاه‌مدت آب در ایام بارندگی‌های رگباری (سیلابی) باشند، وجود ندارد. بنابراین انتظار این‌که جریان‌های سیلابی[1] بدون کدورت (رنگ کمی تیره) هم چنین بدون فرسایش خاک باشند، در این شرایط نباید متصوّر باشد این عوامل، از جمله دلایل ایجاد جریان‌های سیلابی و گل‌آلودگی در برخی رودخانه‌ها است که بیش‌تر رسوبات موجود در جریان‌های سیلابی منتج از فرسایش خاک در حوضه آبخیز می‌باشد. لیکن در مناطقی که دارای علفزارهای طبیعی، مناطق گودالی و یا مرداب (باتلاق) می‌باشند این عوارض فیزیکی و عوامل گیاهی به‌منظور تعدیل مشکلات بیان شده می‌توانند تأثیرگذار باشند.

در حال حاضر نکته مهم این است که اگر بارندگی (آن‌هم از نوع رگباری[2]) رخ دهد، چه اتفاقی می‌افتد؟ با یادآوری این‌که افق سطحی نیمرخ خاک (محیط متخلخل و اسفنجی) در اکثر مناطق پیش‌تر از بین رفته است، آب‌های حاصل از بارندگی به‌ناچار باید در لایه سخت زیرین (رسی) نفوذ نموده و یا به سمت خندق‌های عمیق سرازیر شده و یا در مجاری آب‌بر طبیعی (به‌طور عمده مسدود) باقی بماند.

در حوضه‌های آبخیزی که درختان جنگلی طبیعی آن قطع شده، هیچ عاملی نمی‌تواند موجب جلوگیری از یورش آب در اراضی شیب‌دار حتی در جریان سیلاب‌های غیر مخرب گردد. بدین ترتیب بلافاصله سطح آب در رودخانه‌ها به‌سرعت افزایش یافته و معبر رودخانه‌ها ظرفیت کافی برای ذخیره مقادیر آب‌های اضافی حاصل از وقوع سیلاب را ندارد. زیرا در گذشته به کمک فناوری‌های جدید و با استفاده از ماشین‌آلات مربوطه (سنگین تا بسیار سنگین نظیر بلدوز، اسکریپر، گریدر، غلطک‌های کششی یا خودکار...) ساکنین این مناطق نسبت به اصلاح و احیای محل‌های نگهداری آب‌های پس زده، باتلاق‌ها و نواحی ماندابی و برای اهداف توسعه مزارع و مناطق مسکونی و حتی با فاصله بسیار کمی از کناره مسیر رودخانه‌ها اقدام نموده و این مخازن

1- Floods
2- Storm

طبیعی را تغییر کاربری داده‌اند. و بدین دلیل با اعلام وقوع احتمالی سیلاب افـرادی کـه در ایـن قبیل نواحی زندگی می‌نمایند، به ناچار بایـد منـاطق غیـر مرتفـع (پسـت) را کـه در آن مسـکن گزیده‌اند، برای فقط جان خود و خانواده‌هایشان ترک نموده و به مناطق امن و مصون از خطـرات احتمالی کوچ موقت نمایند.

موضوع قابل تأمل دیگر این است که هرچه بیشتر آب‌های جاری بـه دریـا تخلیـه گـردد، پدیده خشک‌سالی قابل ملاحظه‌ای متعاقب آن باید متصور و مورد انتظار باشـد. بـه‌همـین ترتیب عبور حجم عظیمی از آب در مجاری رودخانه‌ای در ایام سیلابی و مرطـوب، پیامـد عبور جریان اندکی را در همان رودخانه در ادواری که بارندگی متوقـف مـی‌گـردد، خواهـد داشت و بدین ترتیب گیاهان زراعی در مزرعه به‌دلیل کم آبی خشک و نابود می‌شوند.

۱-۷- اقدامات لازم برای برنامه‌های حفاظت آب

اقدامات ضروری برای اجرای برنامه‌هـای حفاظـت آب[1]، کنتـرل سـیلاب[2] و پیشـگیری از خشکسالی‌های دوره‌ای را می‌توان به شرح زیر خلاصه کرد:

الف- کنترل فرسایش خاک و نگهداری از لایه سطحی نیمرخ خاک.

ب - محافظت و نگهداری علمی و مطلوب از جنگل‌هـای طبیعـی و غیرطبیعـی بـه ویـژه در حوضه‌های آبخیز.

پ - ترمیم دیواره‌ها و مناطق نگهداری پساب (آب‌های پس زده) در مسیر رودخانه‌ها.

ت - جلوگیری از اجرای عملیات زراعـی در اراضـی پسـت و جلگـه‌هـای رسـوبی حاصـل از رودخانه‌های دایمی یا فصلی و انجام تمهیدات لازم در مورد حفظ و نگهداری جنگل‌های موجود در این مناطق.

ث – اجرای برنامه‌های سدسازی و ایجاد مخازن ذخیره بر مبنای موازین علمی و تجربـی به‌منظور نگهداشت مازاد آب‌های حاصل از وقوع سیلاب‌ها و اسـتفاده از ایـن ذخـایر آبی در ایام خشک سال.

ح - نظارت و کنترل در برداشت از منابع آب‌هـای زیرزمینـی و مصـرف معقـول و بهینـه آب در کلان شهرها.

1- Water Conservation
2- Flood Control

ج – نگهداری مطلوب از سازه‌های سیل برگردان و خاکریزهـای پشـته‌ای ایجـاد شـده در طول مسیر رودخانه‌های اصلی.

– احداث سدها و پروژه‌های برق آبی

به‌عنوان یکی از راهکارهای دیگر کنترل جریان‌های آبی (سطحی)، کشورهای مختلـف (از جمله کشورمان) نسبت به ساخت سدهای زیادی در مناطق مختلف اقدام نموده‌اند. احداث سدهای مخزنی و دریاچه‌هایی که در پشت آنهـا ایجـاد مـی‌گـردد، بـرای اهـداف کنتـرل سیلاب‌ها بسیار با اهمیت می‌باشند. علاوه بر آن در برخی مناطق احداث سدهای مخزنـی به‌همراه برنامه‌های برق آبی[1] می‌تواند نیروی آب ذخیره شـده در پشـت دریاچـه سـدها را برای به گردش درآوردن ژنراتورهای توربینی[2] تولید برق به‌کار گیرد. بدین ترتیـب نیـروی آب تبدیل به الکتریسته[3] گردیده که می‌تواند رافع نیروی برق موردنیاز منـاطق وسـیعی از هر کشور باشد. هم‌چنین با افزایش سطح آب در رودخانه‌های دایمی، احداث سـدها باعـث امکان ناوبری[4] مسافت‌های قابل ملاحظه‌ای در طول مسیر رودخانه‌ها (در پشـت سـدهای ایجاد شده) گردیده است.

از طرف دیگر مخازن آب که در بالادست سدهای ساخته شده شکل گرفته است قـادر بـه تنظیم جریان آب برداشتی و تنظیم شده[5] برای اهداف آبیاری مناطق نیمه خشک گردیـده و آن نواحی را مستعد تولید فرآورده‌های کشـاورزی مناسـبی نمـوده اسـت. عـلاوه بـر آن دریاچه‌های مصنوعی ایجاد شده در پشت سدها، عمیق، دریاچه‌های شفاف (آب‌های بدون کدورت یا بدون گل‌آلودگی) جایگاه‌های بسیار ایده‌آلی را برای شـنا، قـایق‌رانـی و مـاهی-گیری فراهم آورده است.

1- Hydroelectric
2- Turbine Generators
3- Electricity
4- Navigation
5- Regulated Flow

۱-۸- نتیجه گیری

پیش‌بینی وقوع بارندگی برای کشاورزانی که در زمین‌های حاصلخیز اقدام به امور زراعی نموده‌اند آگاهی خوش‌آیندی است. لیکن برای خانوارهایی که مزارع و مناطق مسکونی آن‌ها در حریم طغیان سیلاب رودخانه‌ها قرار دارد، هشدار وقوع بارندگی قابل ملاحظه موجب افزایش نگرانی آن‌ها از پیامدهای مخرب احتمالی می‌باشد. بدین‌ترتیب به‌نظر می‌رسد که طبیعت دارای دو ویژگی رئوفت و خشونت است. لیکن هرگاه کنکاش واقعی در مورد مسایل مبتلابه زمین و آب به‌عمل آید، به این واقعیت می‌رسیم که انسان قادر به برهم زدن بیلان در طبیعت بدون پرداخت غرامت سنگین آن نمی‌باشد. به‌طور کلی طوفان‌های بادی شدید، توسعه و تخریب بیشتر خندق‌ها و وقوع سیلاب‌های بسیار مخرب به نوعی مرتبط با بی‌توجهی و سهل‌انگاری انسان‌ها است. زیرا، نیروهای موجود در طبیعت بسیار توانمند می‌باشند. این عوامل طبیعی می‌توانند منتج به برداشت قابل ملاحظه‌محصولات کشاورزی گردیده و یا موجبات نابودی اقدامات به‌انجام رسیده در امور کشاورزی (زراعی) گردند. نیروهای حاکم در طبیعت می‌توانند باعث ثروتمندی و یا تهی‌دستی کشاورزان و بهره‌برداران منابع فیزیکی تولید گردند.

سخن کوتاه این‌که توجه و اجرای عملیات حفاظت از منابع طبیعی وظیفه‌ای همگانی است. زیرا هیچ ملتی با کاربرد خاک‌های فقیر و فرسوده نمی‌تواند ثروتمند گردد. از آن‌جا که اقتصاد ملی با ثبات مبتنی بر کشاورزی پیشرفته و پایدار است، باید این واقعیت را همواره در برنامه‌ریزی‌های توسعه و کشاورزی لحاظ نمود که کشاورزی، خود متکی بر چرخه آب به‌عنوان یک نهاد اساسی می‌باشد.

- بعضی منابع برای مطالعه بیشتر

۱- رفاهی، حسینقلی ۱۳۸۵: فرسایش آبی و کنترل آن، چاپ پنجم، انتشارات دانشگاه تهران، شماره ۲۲۹۸- تهران.

۲- رفاهی، حسینقلی ۱۳۸۵: فرسایش بادی و کنترل آن، چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه تهران، شماره ۲۴۱۸- تهران.

۳- قدیری، حسین ۱۳۸۲: حفاظت خاک (مولف نورمن- هادسون)، چاپ چهارم انتشارات دانشگاه شهید چمران، شماره ۲۷۰- اهواز.

۴- محمودی، شهلا و مسعود حکیمیان ۱۳۸۶: مبانی خاکشناسی (مؤلف هنری- د- فوت)، چاپ هشتم انتشارات دانشگاه تهران، شماره ۲۲۶۷- تهران.

5- Schwab, O.G. Frangmeier, D.D, Elliot, W.J and Richard, K.Fervert. 1993: Soil and Water Conservation Engineering, 4th edition, John Wiley and Sons, Inc. U.S.A.

6- Pierce, F.J and W.W, Frye. 1998: Advances in Soil and Water Conservation, Sleeping Bear Press, Inc. U.S.A.

فصل دوم: عوامل مؤثر بر گرایش به شوری منابع فیزیکی تولید (خاک و آب)

۲-۱- مقدمه

کشور ایران حدود ۱۶۵ میلیون هکتار وسعت دارد، بیش از ۵۰ درصد مساحت کشور کوهستانی است. این کوه‌ها در اطراف شوره‌زارها و بیابان‌های شنی و سنگلاخی مرکزی و شرقی قرار گرفته و حوضه بسته‌ای را تشکیل می‌دهند که شامل انواع خاک‌ها با نمک‌های گوناگون است. اختلاف در عرض جغرافیایی، وسعت زمین‌ها، وجود رشته کوه‌های مرتفع البرز، زاگرس و کوه‌های نیمه مرتفع شرقی و مرکزی کشور، همچنین وجود دریای خزر در شمال و خلیج فارس و دریای عمان در جنوب، موجب شده است تا شرایط اقلیمی نقاط مختلف کشور تفاوت‌های زیادی داشته باشد.

سطح بسیار وسیعی از گستره کشور را اقلیم‌های خشک و نیمه خشک تشکیل می‌دهد. به طورکلی در ایران، توزیع زمانی ریزش‌های آسمانی غیریکنواخت است و بارندگی بیشتر در فصل زمستان و اوایل بهار صورت می‌گیرد. میانگین بارندگی در کشور۲۴۰ تا ۲۵۰ میلی‌متر در سال است که این میزان بارندگی کمتر از یک‌سوم میانگین بارش‌های سالانه کره زمین است. بر اساس آمار منتشر شده سازمان جهانی هواشناسی[1] ، متوسط میزان بارندگی سالانه جهان ۸۶۰ میلی‌متر گزارش شده است.

براساس بررسی‌های انجام شده، حدود ۹۰ درصد مساحت کشور (۱۴۸/۵ میلیون هکتار) از میزان بارندگی کافی بهره‌مند نیست، در حالی‌که میزان تبخیر در کشور به طور نسبی بسیار زیاد (در بعضی مناطق ۲۵۰۰ < میلی‌متر در سال) است، تحلیل‌های انجام شده بیانگر آن است که مسئله خشکی[2] در کشور در نتیجه سه عامل اصلی یعنی، عرض جغرافیایی، دوری از دریا و شیوه قرار گرفتن پستی و بلندی‌های خاص این سرزمین است که هر سه عامل، به تشدید خشکی می‌انجامد. در زمینه مشکل آب و آبیاری در کشور، گزارش‌های بسیاری وجود دارد که تصویر جامعی از وضعیت منابع و موارد مصرف فعلی و آتی آب در بخش کشاورزی را ارائه می‌دهد.

1- World Meteorological Organization (WMO)
2- Aridity

به‌هرحال، رسیدن به اهـداف و برنامـه‌هـای خودکفـایی در کشـاورزی کشـور، از دو روش "کلاسیک" افزایش سطح کشت و یا بالا بردن عملکـرد محصـول در واحـد سـطح، عملـی است[۱]. در هر دو راهکار، آب عامل محدودکننده در توسعه اقتصاد کشاورزی کشور است.

قابل ذکر است که براساس رقم‌های موجود از کل ۱۶۵ میلیون هکتـار زمـین‌هـای سـطح کشور، مساحتی حدود ۲۳/۵ میلیون هکتار یـا ۱۴/۲ درصـد کـل بـه درجـات متفـاوت بـا مشکلات شوری، سدیمی بودن، زه‌داری و حالت ماندابی روبه‌رو بوده است. مقدار بیان‌شده مساوی ۳۰ درصد مساحت فلات‌های کم ارتفاع و دشت‌های کشور نیز مـی‌باشـد. اجـزای مساحت ذکر شده شامل:

– ۷/۷ میلیون هکتار خاک‌های آریدی‌سولز[۲] و آنتی‌سولز[۳] حاوی خاک‌های شـور و خـاک-های رسوبی شور هستند، این خاک‌ها به‌دلیل ویژگی‌های ذاتی و کیفی به‌طور نسبی بـه آسانی قابل اصلاح و بهسازی هستند.

– ۸/۲ میلیون هکتار خاک‌های باتلاقی شور، به‌طور عمده جـزو رده آریـدی‌سـولز و گـروه بزرگ آکویی‌سالیدز[۴] هستند. اصلاح و بهسازی این خاک‌ها نیاز به بررسی و اقـدام‌هـای خاص و پیچیده‌ای دارد.

– ۷/۶ میلیون هکتار شامل خاک‌های تکامل نیافته و یا با تکامل بسیار کم نیمـرخ خـاک، که بر روی سنگ‌های آهکی و یا مارن‌های گچی و آهکی تشکیل شده است. این گونـه خاک‌ها اغلب کم‌عمق و بخش وسیعی از آن‌ها شور و سدیمی بوده و بـه‌دلایـل فنـی و اقتصادی برای اجرای عملیات بهسازی نامناسب هستند. این خاک‌ها به‌طور عمـده جـزو رده آنتی‌سولز بوده و سطوح کمی از آن‌ها در رده آریدی‌سولز قرار دارد.

لازم به ذکر است که فرایند شوری و سدیمی شدن خاک‌ها، پدیده‌ای پویا و به‌طور دائم در حال تغییر است و به همین دلیل می‌توان تصور کرد که همه این رقم‌هـای تغییـرات کلـی داشته باشند.

۱- در کشوری مانند ایران، بالا بردن عملکرد محصول در واحد سطح به ازای واحد آب مصرفی می‌تواند راهکار علمی و منطقی‌تری باشد.

2- Aridisols
3- Entisols
4- Aquisalids

متخصصان کشاورزی، اقتصاددانان و جامعه‌شناسان بیشتر کشورهای جهان که منابع فیزیکی تولید آنها با مشکلات شوری و یا سدیمی بودن روبه‌روست، اعتقاد دارند که معضل گرایش به شوری منابع فیزیکی تولید (آب و خاک) در بخش کشاورزی، در آینده‌ای نه چندان دور ممکن است ابعاد اقتصادی و اجتماعی زندگی را در جوامع کشاورزی و روستایی با تنگناهای ویژه‌ای روبه‌رو کند و در نتیجه لزوم پیشگیری و مقابله با آن لازم است.

مساحت خشکی‌های کره زمین $۱۳/۲\times۱۰^{۹}$ هکتار است که ۷×۱۰^{۹} هکتار آن زمین‌های قابل کشت می‌باشد که فقط $۱/۵\times۱۰^{۹}$ هکتار آن زیر کشت و بهره‌برداری قرار دارد. حدود ۲۳ درصد زمین‌های زیر کشت و بهره‌برداری (با مساحت $۰/۳۴\times۱۰^{۹}$ هکتار) را زمین‌های "شور" و مساحتی در حدود $۰/۵۶\times۱۰^{۹}$ هکتار (۳۷ درصد) را زمین‌های "سدیمی" تشکیل می‌دهد.

خاک‌های شور و سدیمی را می‌توان به خاک‌های شور[۱]، خاک‌های سدیمی[۲] و خاک-های شور و سدیمی[۳] رده‌بندی کرد. به‌طور خلاصه، خاک‌های شور حاوی مقدار زیاد نمک-های محلول است، خاک‌های سدیمی مقدار زیادی سدیم تبادلی دارند، در حالی‌که خاک-های شور و سدیمی هر دو ویژگی بیان‌شده را دارا هستند یعنی مقدار نمک‌های محلول و سدیم تبادلی آن‌ها زیاد است.

گرایش به شوری در زمین‌های مورد آبیاری به‌طور گسترده‌ای در جهان پراکنش یافته است و شمار کشورهایی که دچار آسیب این پدیده هستند، بسیار زیاد است. این کشورها از نظر شرایط اقلیمی وضعیت متفاوتی دارند، به‌گونه‌ای که شور شدن زمین در کشورهای مرطوب مانند تایوان و کانادا و کشورهای خشکی مانند ایران و عراق، در شرایط مختلفی پدید آمده و گسترش یافته است. شور شدن زمین‌ها در مناطق خشک و نیمه‌خشک، گسترده‌تر است، به‌گونه‌ای‌که در کشورهایی مانند ایران، ترکیه، عراق و پاکستان، متجاوز از ۵۰ درصد زمین‌های مناطق فاریاب شور است، درحالی‌که در کشورهایی مانند هندوستان، ایالات متحده آمریکا، کشورهای اتحاد جماهیر شوری سابق و استرالیا، فقط

1- Saline Soils
2- Sodic Soils
3- Saline & Sodic Soils

۲۰ تا ۳۰ درصد زمین‌های فاریاب با مشکل شوری و یا شور شدن[1] مواجه می‌باشد. این رقم در مورد کشورهایی مانند سوریه، مکزیک، یوگسلاوی پیشین و رومانی نیز گزارش شده است. زمین‌های فاریاب شور شده در دیگر کشورها مانند جمهوری عربی مصر، ژاپن، مجارستان و چکسلواکی، ایتالیا، فرانسه، چین، نپال و... نیز وجود دارد. این در شرایطی است که برخلاف انتظار، در بعضی از این کشورها میزان تبخیر سالانه یا فصلی آن‌ها بر مقدار بارش‌های آسمانی فزونی ندارد.

بررسی بعضی منابع بیانگر این واقعیت است که مشکل شور شدن منابع فیزیکی تولید (آب و خاک) در بیش از صد کشور جهان وجود دارد و به‌تقریب افزون بر ۱۰ درصد کل زمین-های قابل‌کشت جهان ($۰/۷\times۱۰^{۹}$ هکتار شامل اراضی تحت آبیاری و دیم) را شامل می‌شود. بنابراین هرگاه کل مساحت زمین‌های مورد آبیاری جهان ۲۵۰ میلیون هکتار در نظر گرفته شود، مشکل شوری در زمین‌های تحت آبیاری، در مساحتی حدود ۵۰ میلیون هکتار و به‌درجات مختلف، مطرح است. گزارش‌های تأسف‌بار دیگر، گویای این است که همه ساله، مساحتی در حدود ۵۰ تا ۱۰۰ هزار هکتار به‌دلیل شوری، سدیمی شدن، زه‌داری و ماندابی بودن، از چرخه تولیدات کشاورزی خارج می‌شوند. افزون بر اثرهای مستقیم این فرآیندها بر تولید فرآورده‌های کشاورزی، این عوامل، پیامدهای خاص زیست‌محیطی را نیز به‌دنبال خواهد داشت.

همان‌گونه که گفته شد از کل ۱۶۵ میلیون هکتار زمین‌های سطح ایران، مساحتی در حدود ۲۳/۵ میلیون هکتار که معادل ۱۴/۲ درصد سطح کل است به درجات مختلف با مسائل شوری، سدیمی بودن، زه‌دار و یا ماندابی بودن روبه‌روست. به‌طورکلی، در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور پهناورمان، آب آبیاری و یا کمبود آن علت اصلی تراکم نمک‌ها در نیمرخ خاک است، هر چند مواردی نیز وجود دارد که نشان می‌دهد دلیل شوری خاک، ویژگی‌های شیمیایی سنگ مادری است. به هرحال در خاک‌هایی که به این روش در این مناطق توسعه می‌یابند، به دلیل ناچیز بودن بارش‌های آسمانی، امکان آب‌شویی طبیعی نمک‌ها از نیمرخ خاک، ناچیز بوده و به‌همین دلیل، این گروه خاکها دارای منشأ شور و مشکل‌دار هستند. لیکن در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک کشور که تراکم نمک در نیمرخ خاک قابل ملاحظه نیست، این‌گونه زمین‌ها با وجود بارش‌های کم، قابل‌کشت هستند.

1- Salinization

با توجه به آنچه گفته شد و قبول این واقعیت که در هر محلی از کشور که میزان تبخیر بر بارندگی فزونی دارد و نیز در حالت بالا بودن سطح ایستابی، شور شدن خاک و زمین‌ها اجتناب‌ناپذیر بوده و توجه مجدد به این مهم که در۹۰ درصد سطح کشور مقادیر بارندگی کمتر از ۲۵۰ تا۵۰۰ میلی‌متر در سال است به‌خوبی مشخص می‌شود که در این شرایط، کشاورزی در کشور به‌ویژه در زمین‌های فاریاب همواره با مشکل شوری منابع فیزیکی تولید (آب و خاک) روبه‌رو بوده است.

با توجه به موارد ذکر شده، ملاحظه می‌شود که شرایط اقلیمی خاص کشور، فرآیند تشکیل و گسترش خاک‌های مسئله‌دار را به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد و در نتیجه پراکندگی غیریکنواخت در بیشتر نقاط کشور را موجب می‌شود. خاک‌های شور و سدیمی اغلب در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور پراکنده هستند. این زمین‌ها یا از نظر وضعیت زهکشی طبیعی، ضعیف بوده و یا در چنین شرایطی تکوین و گسترش یافته‌اند.

تجارب موجود در کشور نشان می‌دهد که خاک‌های شور و سدیمی ایران به‌طور گسترده در جلگه‌ها و دشت‌های رسوبی و به‌ویژه در دشت‌های آبرفتی پراکنده‌اند. در این واحد فیزیوگرافی، انواع گروه‌های بزرگ خاک‌ها نیز یافت می‌شوند.

۲-۲- منشأ نمک در منابع خاک و آب

با وجود شرایط اقلیمی مناسب در مناطقی با شبکه‌های آبیاری پیشرفته و مدرن، به‌طورکلی، تولید کشاورزی در زمین‌های فاریاب، زیاد و مطلوب نیست. براساس مطالعات انجام شده بر روی عوامل طبیعی و غیرطبیعی محدودکننده میزان عملکرد محصول در واحد سطح، می‌توان به پایین بودن سطح دانش و مهارت تولیدکنندگان اقتصادی در بخش کشاورزی، گرانی و ناکافی بودن مواد شیمیایی موردنیاز (کود، سم، هورمون و...)، ناکافی بودن عملیات ماشینی در امور زراعی و باغی و از همه مهم‌تر مشکل گرایش کیفیت منابع فیزیکی تولید (خاک و آب) به شوری و سدیمی شدن و به دنبال آن نامطلوب شدن کیفی منابع اشاره کرد.

درباره مشکل اخیر، به‌استناد تجربیات بسیار که گاه قدمت زیادی دارند، لیکن به‌طور عمده به زمان حاضر مرتبط هستند، می‌توان ادعا کرد که شوری و سدیمی شدن منابع فیزیکی

تولید (آب و خاک) در شبکه‌های آبیاری سنتی و جدید، کاهش میزان عملکرد محصول را تا حدود ۹۰ درصد و یا بیشتر به‌دنبال داشته است.

اصلاح، بهسازی و استفاده دوباره، متناوب و قابل تداوم از منابع خاک و آب مسئله‌دار، مستلزم هزینه زیاد، تخصص، تحقیق، پایش و بالاخره زمان و مدیریت ویژه بوده و در مقایسه با آن‌چه در کشاورزی با آب و خاک مناسب مطرح است، ابعاد اقتصادی، اجتماعی و فناوری بسیار متفاوتی دارد.

نامطلوبی و تخریب ویژگی‌های کیفی منابع فیزیکی تولید (خاک و آب) در بخش کشاورزی، فقط مربوط به اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک نیست بلکه شواهد موجود نشان می‌دهد که گستره این مشکلات در مناطق نیمه‌مرطوب نیز وجود دارد.

از نظر کاربرد و مصرف آب در کشاورزی، زمین‌های شور و یا شور و سدیمی نیاز به آب آبیاری بسیار زیادی دارند. با توجه به این واقعیت که در دهه‌های اخیر، حوضه‌های آبخیز رودخانه‌های دائمی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، به‌طور مرتب کمبود عرضه آب مفید را نشان می‌دهند و بدین دلیل، ظرفیت آبیاری رودخانه‌ها و منابع آب زیرزمینی به‌طور دائم در حال کاهش قابل ملاحظه است، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که در آینده‌ای نه چندان دور ممکن است مشکل شور شدن منابع فیزیکی (آب و خاک) تولید در بخش کشاورزی (کلان‌ترین بخش مصرف کننده آب) ابعاد اقتصادی و اجتماعی را در جوامع کشاورزی و روستایی با تنگناهای ویژه‌ای روبه‌رو کند.

۲-۳- منشأ نمک در منابع خاک و زمین‌های کشاورزی

بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که پراکنش زمین‌های شور (و یا شور و سدیمی) در مناطق مختلف جهان، همبستگی کاملی با منشأ شوری دارد. ضمن این‌که می‌توان تجمع و تراکم نمک را با توجه به اولویت و در ارتباط با تناوب و نوع، به شرح زیر بیان کرد:

- منشأ قاره‌ای[1]

در این حالت، منشأ شوری را باید در جریان تجزیه سنگ‌های مادری جستجو کرد. تجزیه نمک‌ها (کربنات‌ها، سولفات‌ها و کلریدها)، جابه‌جایی و توزیع دوباره و سرانجام تجمع

1- Continental

نمک در مناطق فاقد زهکشی بین قاره‌ای، موجب شوری منابع می‌شود. در این حالت، دو مرحله متمایز اولیه و ثانویه تجمع نمک وجود دارد. در مرحله نخست، شوری به‌طور عمده به‌دلیل هوازدگی، تشکیل خاک و تجمع نمک در منابع خاک و آب است، در حالی‌که در مرحله دوم، تجمع و توزیع دوباره نمک حاصل از بخش نخست، موجب شوری می‌شود. منشأ شوری بخش عمده‌ای از منابع فیزیکی (خاک و آب) در ایران بدین دلیل است.

- منشأ دریایی[1]

در این مورد تجمع نمک، بر اثر عمل آب دریاهاست که در زمین‌های پست ساحلی به‌خوبی قابل مشاهده است. در این شرایط نوع نمک غالب را کلریدسدیم تشکیل می‌دهد.

- شرایط دلتایی[2]

در این شرایط نمک از راه آب‌های سطحی و زیرزمینی وارد منطقه شده و یا این‌که تأثیر متقابل آن‌ها، موجب تجمع نمک می‌شود. حالت دوم در دلتای رودخانه‌های قدیمی قابل مشاهده است.

- منشأ آرتزین[3]

در این حالت، تجمع نمک از راه تبخیر سطحی سفره‌های آب زیرزمینی در لایه‌های سطحی نیمرخ خاک و یا در مجاورت آن، به‌وجود می‌آید.

- فعالیت‌های انسانی[4]

در این وضعیت تجمع نمک در زمین و یا در منابع آب سطحی ناشی از بهره‌برداری نامطلوب از منابع خاک، آب و دخالت نامعقول انسان در طبیعت است که نتیجه آن تغییر ناگهانی محیط طبیعی، تجمع نمک، خیز سطح ایستابی زیرزمینی در اثر به‌کارگیری و مصرف بی‌رویه آب و یا استفاده از آب‌های نامطلوب در آبیاری است.

1- Marine
2- Delta Type
3- Artesian
4- Anthropogenic

همان‌گونه که گفته شد در ایـران از کـل ۱۶۵ میلیـون هکتـار زمـین‌هـای سـطح کشـور مساحتی حدود ۲۳/۵ میلیون هکتار که برابر ۱۴/۲ درصد کل است، به درجـات مختلـف و به‌دلایل متعدد طبیعی و غیرطبیعی موضعی، با مسائل شـوری، سـدیمی بـودن، زه‌داری و حالت ماندابی روبه‌رو هستند، این میزان معادل ۳۰ درصد مساحت زمین‌هـای فلاتـی کـم ارتفاع و دشت‌های کشور است. از رقم ذکر شده، ۷/۷ میلیون هکتار با سهولت نسبی، قابل اصلاح و بهسازی است (خاک‌های رده‌های آریدی‌سولز و آنتی‌سولز شامل خاک‌های شـور و خاک‌های رسوبی شور)، ۸/۲ میلیون هکتار خـاک‌هـای بـاتلاقی شـور (خـاک‌هـای رده آریدی‌سولز و گروه‌بزرگ آکویی‌سالیدز) که اصلاح آن نیاز به بررسی زیاد دارد و در نهایـت ۷/۶ میلیون هکتار متشکل از خاک‌های ایجاد شده روی سنگ‌های آهکی و یا مارن‌هـای گچی و نمکی (به‌طور عمده در رده آنتی‌سولز و گاه در رده آریدی‌سولز) بـا تکامـل نیمـرخ خاک ناقص، که برای اصلاح و بهسازی نامناسب برآورد می‌شوند.

۲-۴- عوامل مؤثر در شور شدن منابع آب

بررسی علل و عوامل مؤثر در شور شدن منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی کشور به‌وسیله پژوهشگران معدودی انجام شده که خلاصه آن به‌شرح زیر ارائه می‌شود:

۲-۴-۱- ساختارهای زمین‌شناسی

از جمله معیارهای مهم در تعیین کیفیـت آب‌هـای سـطحی و زیرزمینـی، انحـلال‌پـذیری متفاوت کانی‌ها، رسوب‌ها و سازندهای زمین‌شناسی در آب است. از بین عناصر موجـود در کانی‌هـا و سـازندهای زمـین‌شناسـی، انحـلال‌پـذیری کلریـد ۱۰۰ درصـد اسـت، درجـه انحلال‌پذیری سیلیس موجود در سیلیکات‌ها حدود ۰/۲ درصد و برای سـیلیس موجـود در کوارتز حدود صفر درصد است. از بین سازندهای زمین‌شناسی انحلال‌پذیری ترکیـب‌هـای آهکی به‌طور عمده به میـزان کـربن دی‌اکسـید موجـود در آب وابسـته اسـت و بـه‌دلیـل انحلال‌پذیری زیاد ترکیب‌های کلریدی و سولفات‌ها، آب‌های سطحی موجود در زمین‌های گچی و نمکی، به سرعت این ترکیب‌هـا را در خـود حـل مـی‌کننـد و حتـی در شـرایطی، محلول‌های اشباعی را تشکیل می‌دهد. در زمین‌های رسی و مارنی، به‌دلیل تخلخل زیـاد، سطح تماس آب با ذرات فاز جامد محیط متخلخل، بیشتر اسـت، از سـوی دیگـر سـرعت

جریان آب در خاک، موجب انحلال‌پذیری بیشتر نمک در آب می‌شود. بدین ترتیب میزان شوری آب‌های سطحی و زیرزمینی در این مناطق، بیشتر از خاک‌های شنی و ماسه‌ای است. آب‌هایی که از سازندهای آذرین عبور می‌کنند کیفیت مطلوب‌تری نسبت به سازندهای رسوبی و دگرگونی دارند.

۲-۴-۲- سازندهای کربناتی

این رسوب‌ها از نظر تشکیل منابع، مخازن زیرزمینی و جذب آب حاصل از بارش‌های آسمانی، بسیار اهمیت دارند. در بین سازندهای کربناتی، آبدهی آهک‌های کارستی زیاد و آب اغلب آنها از کیفیت مطلوبی برخوردار است، مگر در شرایطی که گسل‌های موجود موجب نفوذ آب شور در آن شوند. این سازندها بیش‌ترین گسترش را در رشته‌کوه‌های زاگرس و البرز شرقی دارند، البته به‌صورت پراکنده در فلات‌های مرکزی و شرقی نیز یافت می‌شوند. از دیگر سازندهای کربناتی، سنگ‌های کربناتی با تخلخل زیاد هستند که آبدهی متوسطی دارند و گاهی آب این منابع کیفیت مناسبی ندارد، زیرا میزان نمک آن زیاد است. این سنگ‌ها، در آهک‌های اولیگومیوسن و نیز آهک‌های پرموکربنیفر جنوب ایران، گسترش دارند.

۲-۴-۳- رسوب‌های تبخیری

حدود ۱۵ درصد مساحت کل کشور را رسوب‌های تبخیری از انواع گچی، نمکی و مارنی تشکیل می‌دهند که به‌طور مستقیم باعث شوری کیفیت منابع آب در ایران می‌شوند. بخش عمده این نوع رسوب‌ها در حوضه‌های مرکزی و جنوبی کشور گسترش یافته‌اند و از عوامل مهم شوری آب‌های سطحی و زیرزمینی به‌شمار می‌آیند. از مهم‌ترین سازندهای زمین‌شناسی که موجب شوری منابع آب ایران شناخته می‌شود، گنبدهای نمکی است به‌گونه‌ای‌که بیشتر رودخانه‌های کشور، قبل از رسیدن به این گنبدها کیفیت مطلوبی دارند لیکن پس از عبور از آن‌ها، به شدت شور می‌شوند. گنبدهای نمکی بیشتر در بخش‌های جنوبی و مرکزی فلات ایران گسترش دارند. به‌دلیل این‌که چنین سازندهایی اغلب در سطح زمین قرار دارند، شرایط زیان بار و نامناسبی در شور شدن منابع آب و خاک کشور ایجاد کرده‌اند.

۲-۴-۴- عوامل آب و هوایی و موقعیت جغرافیایی

موقعیت جغرافیایی و شرایط اقلیمی منطقه، تأثیر زیادی بر کیفیت آب‌ها دارد. به‌طورکلی آبهای مناطق کوهستانی کیفیت بهتری نسبت به آب دشت‌ها و مناطق کویری دارند. عوامل آب و هوایی نامساعد از جمله کمبود بارندگی و توزیع نامناسب آن، بالا بودن دما و شدت تبخیر در بیشتر نقاط کشور، باعث افزایش غلظت نمک در آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌شود و به دلیل تشدید این شرایط در بخش‌های مرکزی، جنوبی و شرقی کشور، دریاچه‌های شور بیشتری وجود دارد. حتی رودخانه‌های شور در قسمت شمالی کشور که میزان بارندگی در آن بیشتر است، کیفیت آب بهتری دارند، بنابراین در بخش-های جنوبی و مرکزی فلات ایران به دلیل کمبود بارش‌های آسمانی ، آب‌های سطحی و زیرزمینی شوری بیشتری دارند. از سوی دیگر هرچه فاصله رودخانه‌ها از منشأ بیشتر شود، بر شوری آن‌ها افزوده می‌شود.

۲-۴-۵- وضعیت آب‌های زیرزمینی

در مناطق بیابانی و کویری به‌دلیل این‌که فاصله آب‌های سطحی و زیرزمینی از منبع تغذیه بسیار زیاد است و آب‌ها در مسیر خود نمک زیادی را در خود حل و حمل می‌کند، کیفیت آب‌های چنین مناطقی نامطلوب است. بررسی‌های انجام شده درباره وضعیت آب-های زیرزمینی نشان می‌دهد که به‌طور کلی اصول و مبانی علم هیدروژئوشیمی مبنی بر این‌که کیفیت آب‌های زیرزمینی در جهت جریان، در مناطق مختلف تغییر می‌کند، در مورد آب‌های زیرزمینی کشور صادق است، به بیانی دیگر در منطقه نفوذ به‌صورت بی‌کربنات‌ها و سپس به‌صورت سولفات‌ها، و در بخش‌های بیابانی به شکل کلریدی در می‌آید.. به‌گونه‌ای که در دامنه بیشتر ارتفاعاتی که منبع تغذیه دشت‌ها به‌شمار می‌آیند، آب‌ها به‌صورت بی‌کربناتی و در مراکز دشت به صورت سولفاتی و در آخر به‌صورت کلریدی در می‌آید. علت این امر را باید در اثر عواملی مانند: دور شدن از منبع تغذیه، کم شدن سرعت جریان و طولانی بودن زمان تماس یا مجاورت آب و خاک در نتیجه ریزدانه شدن رسوب-های آبرفتی، بالا بودن سطح ایستابی و تبخیر شدید دانست.

۲-۴-۶- اثر آب دریا و آب‌های شور زیرزمینی بر آبخوان‌ها

بررسی‌های مختلف نشان می‌دهند که در نتیجه برداشت و استفاده بی‌رویه از منابع آب مناسب زیرزمینی، آب‌های شور حاشیه سفره‌های آب مذکور به سمت آن‌ها پیشروی کرده و به‌تدریج جایگزین آنها شده که در نتیجه باعث افزایش شوری منابع آب زیرزمینی شده است. دشت‌های ساحلی شمالی ایران در حاشیه دریای خزر، دشت‌های ساحلی جنوب ایران در نوار حاشیه خلیج فارس و دریای عمان، زمین‌های اطراف دریاچه ارومیه، خاک-های پیرامون دریاچه‌های شور و نقاط کویری فلات مرکزی کشور مناطقی هستند که چنین رخدادهایی در آن‌ها به‌وقوع پیوسته است.

۲-۵- وضعیت کیفی خاک‌های شور و سدیمی و اثرهای آن در کشاورزی

در بیشتر مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان، از جمله بخش وسیعی از ایران، میزان بارش-های آسمانی ناچیز است و پراکندگی مناسبی در طی فصول سال ندارد. این میزان بارش سالانه، برای رفع نیاز آبی گیاهان زراعی و باغی کافی نیست و در نتیجه، کشاورزی بدون آبیاری اصولی و یا تکمیلی، به‌جز در بعضی سال‌های استثنایی و در مناطق خاص، درعمل ناممکن است و یا از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نمی‌باشد. بنابراین تأمین رطوبت موردنیاز گیاهان، باید از راه آبخوان‌های کم‌عمق زیرزمینی (به‌وسیله خیز مویینگی) و یا به‌وسیله آبیاری انجام شود. همه آب‌هایی که در طبیعت امکان دست‌یابی به آن‌ها فراهم است، صرف‌نظر از نوع منبع (سطحی یا زیرزمینی)، حاوی مقادیری نمک‌های محلول هستند. در نتیجه، هر نوع افزایش آب به خاک، موجب افزایش نمک در خاک می‌شود. نمک‌های محلول موجود در آب‌های آبیاری مصرفی، به‌طورمعمول انحلال‌پذیری زیادی دارند. بدین ترتیب در حالت‌هایی که میزان آب افزوده‌شده به خاک، فقط برای جبران و یا رفع کمبود میزان تبخیر و تعرّق گیاهی و خاک باشد، در مناطق خشک و نیمه‌خشک همواره موجب بروز و گسترش فرایند شور شدن زمین‌ها می‌شود.

این پدیده موجب افزایش غلظت و انباشت پاره‌ای نمک‌ها در نیمرخ خاک می‌شود، همچنین نوعی دگرگونی در ترکیب کاتیونی همتافت تبادلی خاک[1] به‌وجود می‌آورد.

1- Soil Exchange Complex

افزایش نسبی یون سدیم تبادلی (به‌دلیل انحلال‌پذیری زیاد نمک‌های سدیم در آب) در همتافت خاک در اثر عوامل گفته‌شده، موجب افزایش تدریجی این یون در خاک و گرایش کیفیت آن به سمت سدیمی شدن[1] می‌شود. تشدید پدیده اخیر با کیفیت و کمیت آب به‌کار رفته و ظرفیت تبادل کاتیونی[2] خاک مرتبط است.

براساس نظریه‌های حاکم بر روابط گفته‌شده می‌توان انتظار داشت که در بیشتر مناطق خشک و نیمه‌خشک، فرایند شور شدن خاک‌ها باعث سدیمی شدن خاک نیز می‌شود. در شرایطی که آب آبیاری، حاوی مقدار زیادی نمک‌های بی‌کربنات و کربنات سدیم باشد، تأثیر این نمک‌ها باعث افزایش واکنش (pH) آب شده و در نتیجه سرعت فرایند قلیایی شدن[3] خاک افزایش می‌یابد. استفاده از چنین آب‌هایی (با واکنش ۸ <) در آبیاری باعث عدم انحلال و یا ترسیب نمک کلسیم در محلول خاک می‌شود و اثرهای منفی یون سدیم را تشدید می‌کند. در نتیجه واکنش (pH) محلول خاک نیز به طور احتمالی افزایش یافته و منجر به قلیایی شدن خاک می‌گردد و در نتیجه آن، سدیمی شدن خاک نیز رخ می‌دهد.

با توجه به آنچه گفته شد، کیفیت آب مصرفی در آبیاری محصولات کشاورزی، یکی از عوامل مهم در تغییر وضعیت کیفی خاک‌ها و گرایش زمین‌ها به شوری، سدیمی و قلیایی شدن است. بنابراین، در این‌جا به بعضی از معیارهای لازم درباره کیفیت آب‌های آبیاری، اشاره می‌شود.

بررسی کیفیت شیمیایی آب آبیاری، به‌طور کلی بر مبنای موارد زیر است :

– غلظت یا تراکم نمک‌های محلول در آب که به‌طور مستقیم برروی میزان عملکرد محصولات زراعی و باغی اثر می‌گذارد.

– تراکم یا غلظت یون، به‌ویژه که ممکن است در گیاه نوعی مسمومیت[4] ایجاد کند و یا کیفیت محصولات را نامرغوب نماید.

– نسبت بین اجزای شیمیایی (کاتیون‌های محلول) موجود در آب، که ممکن است موجب گسیختگی خاک‌دانه شود و ساختار خاک را تخریب و نفوذپذیری آن را کاهش دهد.

1- Sodification
2- Cation Exchange Capacity (CEC)
3- Alkalinization
4- Toxicity

به‌طورکلی استفاده از معیارهای ثابت در رده‌بندی کیفیت آب‌ها، مطلوب نیست، زیرا این امر نیاز به ارزیابی اثر کیفیت آب آبیاری در تولید، در نظر گرفتن اثر عواملی مانند نوع محصول، جنس خاک، شرایط زهکشی مزرعه و سرانجام در نظر گرفتن شرایط اقلیمی محل دارد و بر این اساس، ممکن است آبی با کیفیت مشخص در یک منطقه نامناسب، در محل دیگری برای آبیاری قابل استفاده باشد. افزون بر این، پیشرفت قابل ملاحظه علوم و کاربرد فناوری-های نوین در کشاورزی، امکان کاربرد حتی آب‌های نامتعارف (لب شور، شور و پساب فاضلاب‌ها) را نیز در شرایطی فراهم می‌کند. بنابراین، باید یادآور شد که قابلیت آب مورد استفاده در آبیاری، بستگی به نوع و مقدار نمک‌های محلول در آن دارد و عدم دقت و به‌کارگیری آب‌های نامناسب در آبیاری، ممکن است موجب بروز و گسترش مشکلات خاص[1] شود.

پژوهش‌های زیادی در ارتباط با میزان شوری آب خاک[2] و عملکرد گیاهان مختلف انجام شده است. شوری آب خاک، در درجه اول به میزان نمک محلول موجود در آب آبیاری بستگی دارد. افزون بر این غلظت نمک در آب خاک با مقدار رطوبت خاک تغییر می‌کند، زیرا جذب آب به‌وسیله ریشه گیاه و تبخیر، موجب کاهش میزان رطوبت و افزایش نسبی میزان نمک در آب خاک می‌شود. از این نظر، میزان شوری خاک به‌طورمعمول در عصاره اشباع[3] اندازه‌گیری و گزارش می‌شود.

نکته: میزان شوری عصاره اشباع خاک در خاک‌های رسی (به‌دلیل رقت) به‌طورتقریبی نصف مقدار شوری آب خاک در حد رطوبت ظرفیت مزرعه[4] و یک‌چهارم میزان شوری آب خاک در حد نقطه پژمردگی دائم[5] است.

روابط مختلفی برای بیان رابطه میان سطوح مختلف شوری خاک و عملکرد محصولات گوناگون زراعی و باغی بر مبنای آزمایش‌ها به‌دست آمده که در آن‌ها با استفاده مداوم از آب شور، مقدار موردنظر شوری خاک را ثابت نگه می‌دارند. بر پایه نتایج حاصل، جداولی که ارتباط بین میزان شوری آب مصرفی و عصاره اشباع خاک را در حد کاهش‌های ۰، ۱۰، ۲۵،

1- Special Problems
2- Soil Water
3- Saturation Extract
4- Field Capacity (FC)
5- Permanent Wilting Point (PWP)

۵۰ و۱۰۰ درصد عملکرد محصول گیاهان مختلف را ارائه می‌دهد. این جدول‌ها گیاهان را به چهار دسته حساس (S)، نسبتاً حساس (MS)، نسبتاً مقاوم (MT) و مقاوم (T) در برابر شوری تقسیم‌بندی می‌کند. ضعف چنین آزمون‌هایی این است که نمی‌توانند بیانگر تغییرات واقعی کیفیت خاک و میزان عملکرد محصول در شرایط مزرعه باشد، زیرا برخلاف نتایج آزمایش‌هایی که در آن میزان شوری ثابت و یکنواخت نگه داشته می‌شود، در شرایط مزرعه، در بیش‌تر مواقع میزان شوری با عمق خاک تغییر می‌کند. و تنها پس از رسیدن به تعادل کامل شیمیایی (بین شوری خاک و آب آبیاری) آن‌هم در افق‌های سطحی نیمرخ خاک می‌توان رابطه معنی‌داری بین نمک موجود در آب آبیاری و آب خاک برقرار کرد، زیرا در لایه‌های زیرین خاک و در بخش زیرین محدوده توسعه ریشه‌ها، میزان شوری خاک به‌طورتقریبی با مقدار شوری آب حاصل از تراوش‌های عمقی آبیاری برابر است و برحسب نوع خاک و عوامل دیگر، مقدار شوری خاک در لایه‌های زیرین حدود ۳ تا ۱۰ برابر غلظت نمک‌ها در آب آبیاری است. از سوی دیگر گیاه بیش‌ترین میزان آب مورد نیاز مصرفی خود را از لایه‌های سطحی نیمرخ خاک دریافت می‌کند. به‌همین دلیل در مقایسه با توزیع یکنواخت شوری در ستون خاک، میزان کاهش واقعی عملکرد محصول در مزرعه کم‌تر است.

۲-۶- علل گرایش خاک‌ها به شوری و سدیمی شدن

به‌طورکلی علت اصلی تراکم نمک در نیمرخ خاک، در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا، همچنین بخش قابل‌توجهی از گستره کشورمان، آب آبیاری و یا کمبود آن است. البته مواردی نیز وجود دارد که نشان می‌دهد شوری خاک در نتیجه ویژگیهای شیمیایی سنگهای مادری است. به‌هرحال، خاک‌هایی که بدین‌ترتیب در مناطق ایجاد شده، توسعه و یا تکامل می‌یابند، به دلیل ناچیز بودن میزان بارش‌های آسمانی، امکان آب‌شویی طبیعی نمک از نیمرخ خاک‌ها ناچیز است و براین مبنا این گروه خاک‌ها از منشأ شور و مسئله‌دار هستند.

به‌طور اصولی علل گرایش کیفیت خاک‌ها به شور و سدیمی شدن آن‌ها می‌تواند نتیجه دو دسته عوامل طبیعی و غیرطبیعی باشد که هر دو گروه می‌تواند تحت تأثیر مستقیم عوامل مکانی و زمانی، دامنه تغییرات قابل ملاحظه‌ای داشته باشد. بدین دلیل آنچه در زیر ارائه

می‌شود از جمله علل عمومی می‌باشند که در مناطق خشک و نیمه‌خشک، موجب گـرایش کیفیت شیمیایی خاک و زمین‌ها به شور و سدیمی شدن می‌شوند.

- اثر نمک‌های محلول

در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک، به‌طور معمول بارندگی کافی برای آبشویی نمـک‌هـای محلول از نیمرخ خاک وجود ندارد، در نتیجه نمک‌های محلول در افق‌های خاک، متـراکم شده و خاک‌های شور را به‌وجود می‌آورد. مهم‌ترین کاتیون‌ها و آنیون‌های خاک‌هـا و آب-های شور در این مناطق سدیم، کلسیم، منیزیم، پتاسیم، کلر، سولفات، بی‌کربنات، کربنـات و نیترات است. ضمن آن‌که در آب‌های بسیار شور مشابه آب دریا، ممکن اسـت عناصـری مانند بُر، استرونیوم، لیتیوم، سیلیس، روبیدیوم، فلوئور، مولیبدن، منگنز، باریم و آلومینیم (در واکنش‌های بالا) نیز یافت شود. یون بی‌کربنات از کربن دی‌اکسید موجـود در آب حاصـل می‌شود. منبع کربن‌دی‌اکسید، از نیوار (جو) و یا تنفس ریشه گیاهان و یا ریزخاکزیان است. یون‌های کربنات به‌طور طبیعی، فقط در واکنش (pH)حدود ۹/۵ و یا بیش‌تر یافت می‌شود. بُر نیز از دگرگونی مواد معدنی بُردار، مانند تورمالین به‌وجود می‌آید.

هرگاه نمک‌های محلول تراکم یابند، به‌طورمعمول کاتیون سدیم، به‌عنوان یـون غالـب در فاز تبادلی عمل می‌کند و زمینه گسیختگی خاک‌دانه را فراهم مـی‌آورد کـه در نتیجـه آن، ویژگی‌های فیزیکی خاک از جمله شرایط زهکشی طبیعی و درونی خاک، تخریب می‌شود. افزون بر این، وجود مقدار زیاد سدیم در فاز تبادلی به‌دلیل ترسیب عناصری مانند کلسیم و منیزیم به‌صـورت نمـک سـولفات کلسـیم، کربنـات‌هـای کلسـیم و منیـزیم و در نتیجـه جایگزینی یون سدیم به‌جای آن‌ها می‌باشد.

- تبخیر، تبخیر و تعرّق شدید

تبخیر و تعرّق شدید، عامل مهم دیگر در ایجاد و گسترش خاک‌های شور و سدیمی است. فرایندهای تبخیر و یا تبخیر و تعرّق، موجب افزایش غلظت نمک محلـول در آب خـاک و منابع آب سطحی در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌شود. براساس یک برآورد انجام شده، در مناطق خشک حدود ۵۰ تا ۹۰ درصد میزان آب خاک از راه فرایند تبخیر هدر مـی‌رود و این امر غلظت نمک محلول را تا حد ۲ تا ۱۰ برابر در محلول خاک افزایش می‌دهد.

- ویژگی‌های شیمیایی آب‌ها

یکی از عوامل مهم شوری و سدیمی‌شدن خاک‌های زیر کشت و آبیاری، ویژگی‌های شیمیایی آب‌های مورد استفاده است. هرگاه آب‌های کاربردی حاوی مقدار زیادی نمک محلول دارای سدیم، بُر و عناصر جزیی باشند، اثر این عناصر بر گیاهان و حتی جانوران از نظر مسمومیت می‌تواند بسیار جدی باشد. مشکل شوری (و در نتیجه سدیمی بودن) در زمین‌های فاریاب به‌عنوان یک مشکل در کشاورزی بیشتر کشورها، مطرح است. این مشکل منحصر به مناطق خشک و نیمه‌خشک نیست بلکه در مناطق مرطوبی مانند هلند، سوئد، بلغارستان و روسیه، همچنین در اقلیم‌های غیرمرطوب (خشک و نیمه‌خشک) مانند مناطق غرب ایالات متحده، استرالیا، هندوستان و کشورهای خاورمیانه و شمال آفریقا نیز گسترش دارد. به‌گونه‌ای‌که هر سال مساحتی حدود ۵۰ هزار هکتار از زمین‌های کشاورزی و آبیاری این مناطق به‌دلیل شوری از چرخه تولیدات کشاورزی خارج می‌شوند.

به‌طوری‌که گفته شد، وجود نمک‌های محلول زیاد در آب‌های مصرفی، موجب تجمع نمک در نیمرخ خاک می‌شود و در صورتی که آب کافی با کیفیت مطلوب برای آبشویی نمک تراکم یافته موجود نباشد، امکان غیرقابل استفاده شدن این‌گونه زمین‌ها وجود دارد. آبیاری زمین‌ها با آب‌های شور، نفوذپذیری کم خاک‌ها، عدم کفایت شرایط زهکشی طبیعی خاک، بارندگی کم و مدیریت نامناسب در بهره‌برداری از منابع خاک و آب، از جمله عوامل مهم گسترش فرایندهای شوری و سدیمی‌شدن خاک و زمین‌هاست. عوامل ذکر شده، بر رشد گیاه و عملکرد محصول، تأثیر نامطلوب می‌گذارد. پیش نیاز اصلاح و بهسازی این خاک‌ها، آب‌شویی نمک‌های محلول و تراکم یافته در خاک است که تخلیه و دفع زه‌آب‌های حاصل نیز ممکن است موجب آلودگی و شور شدن منابع سطحی آب دریافت‌کننده و یا پیامدهای زیست‌محیطی شود. وجود عناصری مانند سلنیوم، کروم و جیوه در آبهای حاصل از زهکشی سطحی زمین‌های آبیاری و تخلیه این زه‌آب‌ها به سطوح آبی، ممکن است موجب بروز مشکلاتی برای آبزیان و پرندگان شود.

- شرایط زهکشی خاک و زمین‌ها

زهکشی طبیعی و درونی ضعیف خاک نیز می‌تواند به‌عنوان یکی از عوامل شوری منابع خاک مطرح شود. این مشکل ممکن است به‌دلیل سطح ایستابی کم‌عمق و یا کاهش نفوذ

و تحرک آب در خاک (نفوذپذیری) ناشی از وجود یون سدیم زیاد در آب مصرفی (نسبت جذب سدیم زیاد) و یا آب زیرزمینی به‌وجود آید. نفوذپذیری، یکی از ویژگی‌های مهم خاک است که امکان عبور و تحرک سیالات (گازها و مایعات) و نفوذ ریشه گیاهان را در توده حجیم و یا لایه‌ای از نیمرخ خاک نشان می‌دهد.

بدین‌دلیل، زهکشی ضعیف طبیعی بعضی از مناطق پست که دریافت‌کننده رواناب سطحی مناطق مرتفع و نیمه مرتفع مجاور است، موجب تبخیر و تغلیظ آب ایستابی بر روی سطح این زمین‌ها و ایجاد حالت شوره‌زار یا نمک‌زار می‌شود. در شرایطی که وضعیت زهکشی زمین‌ها، نامطلوب باشد، کاربرد آب‌های شور برای آبیاری زمین‌های غیرشور، حتی اگر این زمین‌ها در مجاورت زهکش‌های طبیعی و یا ساخته‌شده باشند، می‌تواند از جمله عوامل شوری و سدیمی شدن خاک‌ها باشد.

- منبع و منشأ نمک‌های محلول

منابع اصلی نمک‌های محلول در خاک‌ها، بیشتر شامل موارد زیر است: نمک‌های حاصل از تجزیه کانی‌های اولیه در مناطق تشکیل خاک، بقایای نمک‌های فسیلی، رسوب‌گذاری حاصل از واکنش‌های اقلیمی (عوامل آب و هوایی)، نمک‌های موجود در آب‌های شور و مورد استفاده در آبیاری و زه‌آب‌های زهکشی، آب‌های زیرزمینی نامطلوب، نفوذ آب دریا در زمین‌های مجاور، مصرف کودهای معدنی و آلی، استفاده از فاضلاب خام و لجن فاضلاب، پخش آب‌های شور حاصل از رسوب‌های طبیعی گچی و نمکی و بالاخره تخلیه آب‌های شور حاصل از حفاری حوضه‌های نفت و گاز.

پس از تخریب و تجزیه کانی‌های اولیه، سنگ‌ها و مواد اولیه سازنده خاک و فرایندهایی مانند آبکافت[1] ، جذب آب، اکسایش و کربناتی شدن، موجب آزادسازی نمک‌های محلول می‌شوند. در بعضی از مناطق نمک‌های فسیلی منبع و منشأ اولیه نمک‌های محلول هستند که از رسوب‌های نمکی و یا محلول‌های مدفون و پنهان در سازندهای دریایی اولیه به‌وجود می‌آیند. نمک‌های حاصل از ترسیب در اثر عوامل اقلیمی در شرایط خشک و مرطوب حدود ۱۰۰ تا۲۰۰ کیلوگرم در سال در هکتار در سواحل دریاها، و حدود ۱۰ تا ۲۰ کیلوگرم در سال در هکتار در مناطق کم باران است. ترکیب نمک‌ها، بسته به فاصله از

1- Hydrolysis

منبع تغییر می‌کند، به‌گونه‌ای‌که در سواحل دریاها نمک غالب کلرید سدیم است. و در زمین‌های دورتر از ساحل، مقدار کلسیم و منیزیم افزایش می‌یابد.

۲-۷- رده‌بندی و اصلاح خاک‌های شور و سدیمی

خاک‌های شور و یا سدیمی، بر پایه دو ویژگی مهم زیر، تعریف، ارزیابی و رده‌بندی می‌شوند:

- غلظت نمک‌های محلول در حدی باشد که بر رشد و نمو گیاهان اثرهای نامطلوب بگذارد.
- درصد سدیم تبادلی[1] به میزانی باشد که پایداری خاک‌دانه‌ها بر اثر تخریب ساختمان خاک، تضعیف شود و ویژگی‌های فیزیکی خاک نیز نامطلوب گردد.

- خاک‌های شور

در گذشته خاک‌هایی که میزان هدایت الکتریکی عصاره اشباع[2] آنها بیش از ۴ دسی-زیمنس برمتر (dS/m) و درصد سدیم تبادلی آن کمتر از ۱۵ بود، به‌عنوان خاکهای شور شناخته می‌شدند. در سال‌های اخیر، بعضی پژوهشگران پیشنهاد کرده‌اند که حد شوری عصاره اشباع خاک (هدایت الکتریکی) این‌گونه خاک‌ها، ۲ دسی‌زیمنس‌برمتر منظور شود، زیرا بیشتر گیاهان به‌ویژه درختان میوه و گیاهان زینتی در محدوده شوری ۲ تا ۴ دسی-زیمنس‌برمتر آسیب‌پذیر می‌شوند. مشکل خاک‌های شور، تراکم نمک‌های محلول در فاز مایع خاک است که بیشتر به‌صورت کلرید، سولفات‌ها و گاهی نیترات هستند. هرچند نمک‌های کم‌محلولی مانند سولفات کلسیم ($CaSO_4$) و کربنات کلسیم ($CaCO_3$) نیز در این نوع خاک‌ها یافت می‌شود. خاک‌های شور به‌دلیل وجود مقدار کم سدیم تبادلی در همتافت تبادلی خود، نفوذپذیری مناسبی دارند.

اصلاح و بهره‌برداری از خاک‌های شور با آب‌شویی نمک‌های محلول و استفاده از آب مناسب و کافی امکان‌پذیر است. زیرا این نمکهای تراکم یافته در نیمرخ خاک، از انحلال‌پذیری مطلوبی برخوردارند که با به‌کارگیری آب آبشویی، به همراه تراوش‌های

1- Exchangeable Sodium Percentage (ESP)
2- Electrical Conductivity of Soil Extract (ECe)

عمقی، از محدوده گسترش ریشه به بخش زیرین خاک انتقال می‌یابند. در عمل بهتر است که ابتدا میزان هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (شوری) در افق‌های صفر تا ۵۰ سانتی‌متر سطحی نیمرخ خاک تا حد آستانه شوری برای کشت گیاه موردنظر کاهش داده شود و تداوم آب‌شویی نمک‌های متراکم در لایه‌های زیرین، با تراوش‌های عمقی آب آبیاری به‌کار رفته انجام شود.

اصلاح خاک شور ممکن است به‌دلایل متعدد از جمله محدودیت زهکشی طبیعی (داخلی خاک) و بالا بودن سطح ایستابی، نفوذپذیری کم خاک، پایین بودن میزان هدایت هیدرولیکی اشباع افق‌های نیمرخ خاک (لایه‌ای زیرین ستون خاک)، کمبود آب مورد نیاز با کیفیت مناسب و یا هزینه‌های تأمین آب مورد نیاز، با مشکلاتی در آب‌شویی و آبیاری زمین‌ها همراه شود.

- خاک‌های سدیمی

از ویژگی‌های آشکار این نوع خاک‌ها، دارا بودن میزان شوری عصاره اشباع خاک به مقدار کمتر از ۴ دسی‌زیمنس‌برمتر و درصد سدیم تبادلی بیشتر از ۱۵ است. در این نوع خاک‌ها مقدار نسبت جذب سدیم[1] محلول خاک بیشتر از ۱۳ است، در نتیجه ملاحظه می‌شود که اصلی‌ترین مشکل این خاک‌ها، میزان سدیم است.

قابل توجه بودن مقدار سدیم و هدایت الکتریکی کم‌عصاره اشباع خاک، موجب گسیختگی خاک‌دانه‌ها و پراکنش ذرات رس می‌شود، زیرا وفور نمک‌های سدیم موجب تضعیف انعقاد خاک‌دانه‌ها و گسیختگی آن‌ها می‌شود که به‌دنبال آن، پراکنش ذرات رس به وقوع خواهد پیوست.

واکنش (pH) خاک‌های سدیمی در محدوده ۸/۵ تا ۱۰ متغییر است و این امر به‌دلیل آبکافت نمک کربنات‌سدیم است. کلر، سولفات و بی‌کربنات همراه با مقداری کربنات، از عمده‌ترین آنیون‌های محلول در خاک‌های سدیمی هستند. به‌دلیل این‌که در واکنش (pH) زیاد ، آنیون کربنات وجود دارد، در نتیجه کلسیم و منیزیم در خاک رسوب می‌کنند و به‌همین دلیل مقدار این کاتیون‌ها در محلول خاک کاهش حاصل می‌یابد. کاتیون‌های محلول و تبادل‌پذیر موجود در این خاک‌ها افزون بر سدیم، حاوی پتاسیم نیز می‌باشد.

1-Sodium Adsorption Ratio (SAR)

در گذشته خاک‌های سدیمی به‌نام "قلیای سیاه" شناخته می‌شدند که تغییر رنگ این خاک‌ها به‌دلیل محلول و پراکندگی مواد هومیک سیاه در خاک بوده است. در این خاک‌ها، ممکن است به‌دلیل این‌که در لایه سطحی دارای بافت درشت‌تر است و لایه‌های زیرین نیمرخ خاک به‌دلیل شسته شدن و انتقال ذرات رسی که از سدیم تبادلی اشباع شده‌اند، دارای نفوذپذیری کم و ساختار منشوری باشند.

اصلاح خاک‌های سدیمی می‌تواند با به‌کارگیری گچ (ژیپس) و کلرید کلسیم که زمینه جایگزینی یون کلسیم را به‌جای یون سدیم تبادلی فراهم می‌آورد، امکان‌پذیر باشد. در این شرایط کلسیم جایگزین سدیم شده و نمک سولفات سدیم (Na_2SO_4) یا کلرید سدیم (Na Cl) به‌دست می‌آید که به‌دلیل انحلال‌پذیری زیاد قابل آبشویی و دفع است. نمک‌های سولفات کلسیم (گچ) و کلرید کلسیم، ضمن این‌که غلظت الکترولیتی خاک را افزایش می‌دهند، موجب افزایش نفوذپذیری خاک نیز می‌شوند. در خاک‌های آهکی و یا خاک‌های سدیمی با مقدار زیادی کربنات کلسیم (آهک)، می‌توان سدیم‌زدایی را با به‌کارگیری گوگرد عنصری و یا اسید سولفوریک غلیظ صنعتی نیز انجام داد، استفاده از مواد اصلاح‌کننده خاک، مستلزم عملیات ویژه‌ای است.

- خاک‌های شور و سدیمی

عصاره اشباع این‌گونه خاک‌ها دارای هدایت الکتریکی بیش از ۴ دسی‌زیمنس‌برمتر و درصد سدیم تبادلی بیش از ۱۵ است. در نتیجه مشکل مضاعف این خاک‌ها، بالا بودن میزان نمک‌های محلول و درصد سدیم تبادلی است. از آن‌جاکه غلظت الکترولیتی (نمک-های محلول) فاز مایع خاک قابل ملاحظه است، در نتیجه واکنش (pH) آن‌ها از ۸/۵ کمتر بوده و خاک منعقد می‌باشد.

هنگام اصلاح و بهسازی این نوع خاک‌ها، باید دقت کافی داشت، زیرا ممکن است در فرایند آبشویی، خروج نمک‌های محلول از نیمرخ خاک‌ها، موجب چیرگی یون سدیم در محلول خاک و گرایش احتمالی این خاک‌ها به‌سمت سدیمی‌شدن گردد، در نتیجه مقدار واکنش (pH) خاک از ۸/۵ فراتر رفته و گسیختگی خاک‌دانه‌ها نیز رخ می‌دهد.

برای اصلاح و بهسازی خاک‌های شور و سدیمی، به‌کارگیری هم‌زمان آب مناسب برای آبشویی نمک‌ها و افزودن مواد اصلاح‌کننده دارای یون کلسیم (سولفات‌کلسیم یا

کلریدکلسیم) برای جایگزینی با یون سدیم تبادلی، ضرورت دارد. بدین‌ترتیب نمک‌های محلولی مانند کلرید سدیم و سولفات سدیم به‌دست می‌آید که به‌دلیل انحلال‌پذیری مطلوب به همراه تراوش‌های عمقی از نیمرخ خاک آبشویی‌شده و به لایه‌های زیرین انتقال می‌یابد. روش دیگری که برای اصلاح این گونه زمین‌ها پیشنهاد شده است آبشویی مقدماتی با آب‌های شور حاوی کلسیم و منیزیم زیاد است. هرگاه شوری آب موردنظر بسیار زیاد باشد، می‌توان از راه آمیختن با آب مناسب یا لب‌شور، آن را رقیق کرد. از جمله محاسن این روش، جایگزینی مقدماتی کلسیم به‌جای سدیم تبادلی است که پس از رسیدن به این مرحله، استمرار آب‌شویی نمک‌های محلول باید با استفاده از آب مناسب انجام گیرد.

از موارد قابل تعمق در اصلاح و بهسازی خاک‌های سدیمی و یا شور و سدیمی، هزینه‌های مربوط به تأمین مواد اصلاح‌کننده خاک حاوی کلسیم و به‌کارگیری آن است. مواد اصلاح‌کننده باید به شیوه‌ای استفاده شوند که امکان انجام واکنش‌های لازم بین کلسیم و سدیم تبادلی در خاک با سهولت نسبی فراهم باشد. بدین‌دلیل پیشنهاد شده است که مقداری گچ مورد نیاز پس از پخش روی سطح زمین با خاک لایه سطحی مخلوط شود. روش دیگر، می‌تواند افزودن گچ به آب آبشویی و یا آب مصرفی باشد.

- اثر شوری و سدیمی بودن بر ویژگی‌های خاک و عملکرد گیاهان

مهم‌ترین اثر نامطلوب شوری در خاک، افزایش غلظت نمک‌های محلول در فاز مایع خاک است. در نتیجه این پدیده، جذب آب به وسیله گیاه که مبتنی بر خاصیت اسمز است، حتی در صورت وجود رطوبت کافی در خاک، مختل، متوقف و گاه حالت معکوس به‌خود می‌گیرد. افزون بر این، بعضی یون‌های موجود در عصاره اشباع خاک، مانند سدیم، کلر و بُر مسمومیت‌های خاصی را برای گیاهان به‌وجود می‌آورند. همان‌گونه که گفته شد در بیشتر حالت‌ها، افزایش تراکم نمک‌های محلول در خاک با افزایش یون سدیم تبادلی در همتافت خاک همراه است. تأثیر منفی و جدّی سدیم تبادل‌پذیر در خاک بر کاهش رشد و نمو گیاهان را می‌توان به عواملی مانند مسمومیت گیاهی، عدم توازن موادغذایی در گیاه، و بالاخره افزایش میزان واکنش (pH) خاک نسبت داد. ضمن این‌که اثرهای سدیمی بودن خاک، بر ویژگی‌های فیزیکی نیز بسیار با اهمیت است.

۲-۸- اثر شوری و سدیمی بودن بر ویژگی‌های خاک

شوری و سدیمی بودن، اثر زیادی بر ساختار خاک دارد. چون ساختار خاک بستگی به شیوه آرایش ذرات آن دارد و نفوذ و تحرک آب به سطح و درون خاک نیز به بافت و ساختار خاک بستگی مستقیم دارد، پس هرگاه میزان سدیم در خاک زیاد و مقدار شوری خاک، کم باشد، نفوذپذیری، هدایت هیدرولیکی و تحرک آب در خاک، به‌دلیل تورم و پراکنده شدن ذرات رس و از بین رفتن خاک‌دانه‌ها، کاهش می‌یابد. به‌طورکلی نفوذ آب در خاک در مراحل اولیه که خاک خشک است، سریع بوده، لیکن پس از گذشت زمان، آهسته می‌شود و به حالت پایدار (نفوذ پایه اراضی) می‌رسد. متورم‌شدن ذرات رس، موجب کوچک‌ترشدن منافذ خاک می‌شود و تخریب خاک‌دانه‌ها نیز موجب کاهش خلل و فرج-هایی می‌شود که مسیر جریان آب و نمک‌های خاک هستند. بسته‌شدن بعضی از منافذ با ذرات رس جایگزین‌شده و تورم رس‌ها، تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر نفوذ و تحرک آب و هوا در خاک خواهد داشت، هرچند این عامل، تحت تأثیر نوع کانی‌ها، نوع یون‌های جذب‌شده بر سطح ذرات رس و غلظت نمک‌های محلول در فاز مایع خاک نیز قرار می‌گیرد. بیش-ترین میزان تورم، در رس‌های حاصل از کانی‌های اسمکتیت[1] اشباع از سدیم است. تورم ذرات خاک با کاهش غلظت نمک‌های محلول در خاک، افزایش خواهد یافت.

هرگاه مقدار درصد سدیم تبادلی خاک بیش از ۱۵ باشد، بعضی رس‌های تورم‌پذیر مانند مونت موریلونیت[2]، آب بیشتری را جذب و نگه‌داری می‌کنند. از سوی دیگر، هرگاه غلظت نمک‌های محلول در خاک کاهش و درصد سدیم تبادلی افزایش یابد، نفوذپذیری و هدایت هیدرولیکی خاک کاهش خواهد یافت.

نکته: هرگاه غلظت نمک آبی که از نیمرخ خاک خارج می‌شود، بیش از غلظتی باشد که در یک مقدار درصد سدیم تبادلی معین، و مقدار کاهش نفوذپذیری خاک در حدود ۱۰ تا ۱۵ باشد، استفاده از آبی با همان غلظت، موجب کاهش نفوذپذیری در نیمرخ خاک نمی‌شود.

1- Smectite
2- Montmorilonite

- اثر شوری خاک بر عملکرد گیاهان

شوری و سدیمی بودن خاک، اثرهای متفاوتی بر رشد و عملکرد گیاهان دارد. برای مثـال، سدیمی بودن خاک باعث مسمومیت گیاهی، اختلال در تغذیه گیاه از جمله کمبود کلسـیم در گیاه می‌شود. در خاک‌های با شوری زیاد نیز یون‌هـای محلـولی ماننـد کلـر، سـولفات، بی‌کربنات، سدیم، کلسیم و منیزیم و گاهی نیترات و پتاسیم با کاهش پتانسیل اسمزی، به گیاه آسیب می‌رسانند. ضمن این‌که حد تحمل گیاهان مختلف و حتی رقم‌های مربوط بـه یک نوع گیاه خاص نسبت به یک یون به‌خصوص نیز متفاوت است.

آب مورد استفاده گیاه، تحت تأثیر دو عامل پتانسیل ماتریک و اسمزی است. هرگاه میزان آب درون گیاه توسط تبخیر و تعرّق کاهش یابـد، پتانسـیل‌هـای ماتریـک و اسـمزی نیـز کاهش یافته و منفی‌تر می‌شوند. یون‌های موجود در محلول خاک نیـز بـر فشـار اسـمزی تأثیر می‌گذارد.

با استفاده از رابطه زیر می‌توان عملکرد نسبی محصول را برای هر میزان هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (EC_e) برآورد کرد:

$$Y = 100 - b(EC_e - a) \qquad (۱-۲)$$

که در آن :

a = مقدار هدایت الکتریکی (شوری) عصاره اشباع برحسب دسی‌زیمنس‌برمتر، در آستانه کاهش میزان محصول،

b = درصد کاهش میزان عملکرد محصول به ازای افزایش هر واحد شوری افزون بر شوری آستانه و

Y = میزان نسبی عملکرد محصول برحسب درصد (در مقایسه با عملکرد محصول، هنگامی که شوری خاک مطرح نباشد).

مقادیر a و b برای تعداد زیادی از گیاهان زراعی و باغی در جداول مندرج در مراجع معتبر قابل دسترسی و استفاده است*.

تأثیر شوری بر رشد و نمو گیاه، به شرایط آب و هوایی، ویژگی‌های خاک، عملیات زراعـی، اعمال مدیریت بر آبیاری، نوع محصول مورد نظر، نوع رقم یا واریته، مرحله رشد و ترکیب

---

* برای آگاهی تفصیلی بیشتر به کتاب «واکنش گیاهان به شوری» شماره ۵۸ کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۱۳۸۱ مراجعه شود.

نمک‌ها و حتی نوع نمک خاص بستگی دارد. شوری آب و خاک زمانی بر عملکرد محصول تأثیر می‌گذارد که مقدار آن از "شوری آستانه‌ای" فراتر رود. این مقدار در گیاهان متفاوت است. به‌هرحال، گزارش شده که در بیش‌تر حالت‌ها، میزان کاهش عملکرد محصول "خطی" است.

۲-۹- ملاحظات ویژه در کشاورزی و آبیاری در شرایط شوری منابع فیزیکی تولید (خاک و آب)

همان‌گونه که گفته شد، همه آب‌های مورد استفاده در آبیاری، دارای مقادیر و انواع مختلف نمک‌های محلول هستند که میزان و نوع این نمک‌ها، به نوع منبع و زمان بهره‌برداری از آن بستگی دارد. با افزودن آب آبیاری به خاک، مقادیر قابل ملاحظه‌ای از آب استفاده شده، صرف رفع نیاز آبی گیاه و تبخیر از سطح خاک می‌شود که این امر، موجب تراکم و تغلیظ نمک‌ها در خاک و همچنین موجب افزایش شوری در عصاره اشباع خاک می‌گردد. به‌طور اصولی و در صورت امکان، باید در آبیاری، از آب‌های با کیفیت مناسب استفاده کرد. درغیراین‌صورت، مسئله به‌کارگیری و مصرف آب‌های با کیفیت بینابینی[1] و نامطلوب[2] مطرح خواهد شد، که در این مورد، شرایط به‌کارگیری و مصرف این‌گونه آب‌ها در مقایسه با آب‌های مناسب در امر آبیاری، نیاز به اعمال اقدام‌های ویژه دارد. در زیر بعضی پیشنهادهای ضروری درباره استفاده از آب‌های مسئله‌ساز در آبیاری خاک‌های مسئله‌دار ذکر شده است.

- انتخاب گیاهان سازگار

انتخاب گیاهان مناسب در الگوی زراعی و تناوب کشت، اهمیت ویژه‌ای دارند، همچنین باید به مقاومت گیاهان در برابر شوری و یا سدیم تبادلی، آن هم با معیارهای کمیتی، توجه ویژه شود. افزون بر این، نوع گیاه نیز باید بر اساس نیازهای بوم‌شناختی و اطمینان از سازگاری آن انتخاب شود و همچنین امکانات تطابق‌پذیری آن با شرایط محیطی منطقه در نظر گرفته شود.

1- Marginal
2- Unsuitable

- تنظیم تراکم و تجمع نمک در نیمرخ خاک

در زمین‌های تازه اصلاح‌شده و حتی در زمین‌های فاریاب باید به جلوگیری از تجمع نمک‌ها در نیمرخ خاک، به‌ویژه در محدوده توسعه ریشه گیاهان، توجه ویژه شود. امکان دست‌یابی به این امر، متضمن آگاهی از اصول و مبانی علمی، چگونگی حرکت نمک[1] در خاک موردنظر، شرایط هیدرولوژی و ویژگی‌های اقلیمی منطقه، آن هم به‌صورت کمیتی است. همچنین در مطالعات و برنامه‌ریزی‌های زراعی و تنظیم بیلان به تأثیر متقابل آبشویی نمک‌های محلول خاک و واکنش گیاهان موردنظر به آب و نمک در خاک باید توجه ویژه شود.

- مدیریت بهره‌برداری از منابع فیزیکی تولید (خاک وآب)

به‌کارگیری فناوری‌های پیشرفته و مرتبط با امور آبیاری و زهکشی، امکان استفاده از آب‌هایی با کیفیت بینابینی و یا نامطلوب را فراهم می‌کند، مشروط بر این‌که روش‌های مناسب برای کشت و آبیاری با تنظیم بازده‌های منطقی و ارزیابی اقتصادی انتخاب شود که از آن جمله می‌توان به انتخاب گیاهان و یا گونه‌های مقاوم به شوری، کشت گیاه در دو طرف جوی‌ها (در مورد گیاهان ردیفی در زراعت ماشینی)، احداث سامانه زهکشی به منظور بهبود شرایط فیزیکی خاک (برای پایین نگه‌داشتن سطح سفره آب زیرزمینی کم‌عمق و به‌طور عمده شور)، اعمال نوبت‌های آبیاری سنگین به منظور آبشوئی و کنترل نمک‌ها در نیمرخ خاک، و بالاخره استفاده از روش‌های آبیاری سطحی پیشرفته مانند جوی پشته و نواری، اشاره کرد، که این روش، به دلیل عدم تغلیظ نمک‌ها در حین بارش و اثر سوزندگی رسوبات نمکی بر برگ‌ها در شرایط اقلیمی خشک و نیمه خشک بر روش آبیاری بارانی برتری دارد.

نکته : در شرایطی که از نظر فنی و اقتصادی امکان استفاده از روش آبیاری بارانی توجیه‌پذیر باشد، به‌کارگیری این روش در آب‌شویی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک‌های شور، در مقایسه با روش‌های سطحی، می‌تواند مزیت‌هایی داشته باشد.

1- Solute Movement

بدیهی است مهم‌ترین پیش‌نیاز در به‌کارگیری این روش‌ها در کشاورزی (آبیاری)، احداث سامانه زهکشی مزرعه‌ای است. به‌همین ترتیب هرگاه تراوش‌های عمقی آب مصرفی در آبیاری به آبخوان‌های کم‌عمق نفوذ کند و یا زه‌آب‌های به‌وجود آمده، به جریان‌های سطحی تخلیه و دفع شود، مشکل آلودگی و بار ناشی از آن نیز مطرح می‌شود.

-توجه به نیاز آبشویی گیاهان موردنظر

از دیدگاه نظری، هرگاه لازم باشد زمین‌های مورد آبیاری به‌صورت بارده و حاصل‌خیز باقی بمانند، باید در برنامه‌ریزی‌های آبیاری مقداری آب افزون بر نیاز آبی گیاه، به منظور تنظیم بیلان آب و نمک[1] در محدوده توسعه ریشه گیاهان موردنظر، در نظر گرفته شود. بدین ترتیب، آب مورد استفاده برای کنترل نمک (نیاز آبشویی)، این امکان را فراهم می‌آورد که به کمک آن‌ها بتوان فرایندهای تراکم[2] ترسیب[3] ، انتقال[4]، انحلال[5] و تبادل[6] را در عصاره اشباع نیمرخ خاک تنظیم کرد. افزون بر این، انجام آب‌شویی باید با توجه به واکنش گیاه، مشکل آلودگی منابع آب سطحی و زیرزمینی و عملیات زراعی؛ بررسی، تطبیق و به‌کار گرفته شود.

بنابراین انتخاب دقیق مقدار آب مورد نیاز آب‌شویی[7] در عمل بسیار دشوار است، زیرا محاسبه این کمیت، به عوامل متغییری مانند میزان و نوع نمک‌های موجود در آب آبیاری، حد تراکم نمک‌های قابل تحمل گیاه، بازده‌های کاربرد آب آبیاری برای استفاده گیاه و آب‌شویی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک، بستگی دارد.

-تدابیر اجرایی برنامه‌های اصلاحی خاک

نکته مهم دیگری که باید به آن توجه کرد این است که آیا لازم است مسئله بیلان نمک در محدوده‌ای مشخص از نیمرخ خاک، به‌طور مداوم و مستمر انجام شود و یا این‌که بهتر

1- Water and Salt Balance
2- Concentration
3- Precipitation
4- Transport (Movement)
5- Solubility
6- Exchange
7- Leaching Requirement (LR)

است اجازه داده شود تراکم نمک‌ها تا حد مجاز و قابل‌تحمل گیاه افزایش یابد و آب‌شویی نمک‌های محلول و انباشته شده در خاک به‌طور فصلی و یا سالانه و آن هم از طریق برنامه آبشویی نیاز اصلاحی[1] خاک و تا حد مقاومت یا تحمل گیاهان به شوری انجام گیرد. در این مورد منظور از آبشویی اصلاحی خاک، خارج کردن نمک‌های محلول اضافی و به دنبال آن زدودن سدیم تبادلی از محدوده توسعه ریشه گیاهان است.

۲-۱۰- نتیجه‌گیری

امکان انجام و تحقق موارد گفته شده، به‌طور کلی مستلزم دو مورد کلیدی است. نخست آن‌که آب موردنیاز و با کیفیت مطلوب و قابل به‌کارگیری برای آب‌شویی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک وجود داشته باشد، و دیگر این‌که شرایط مناسب زهکشی خاک و زمین‌ها، پیش‌نیاز موفقیت‌آمیز برنامه‌های آبشویی و یا اصلاحی خاک است که چنان‌چه این شرایط به‌طور طبیعی موجود نباشد، به‌ناچار باید به‌طور مصنوعی و با هزینه زیاد ایجاد شوند.

پیشنهاد می‌شود در برنامه‌های مطالعات و شناسایی منابع خاک، به مسائل شوری و سدیمی بودن زمین‌ها به‌عنوان عوامل قابل تعدیل توجه شود، بنابراین چون ممکن است اصلاح، بهسازی، بهره‌برداری و مدیریت این‌گونه زمین‌ها از نظر هزینه‌های مربوط، با روند عادی ارزیابی منابع خاک و زمین تفاوت داشته باشد، بنابراین در برنامه‌های گسترش آبیاری در زمین‌های کشاورزی لازم است موارد اصلاح و سودآوری این نوع خاک‌ها با دقت و از هر جنبه مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد.

1- Reclamation Requirement (RR)

- بعضی منابع برای مطالعه بیشتر

۱- بنایی، محمدحسن، بای‌بوردی، محمد و همکاران ۱۳۸۳: خاکهای ایران، تحولات نوین در شناسایی، مدیریت و بهره‌برداری، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، انتشارات سنا- تهران، چاپ اول.

۲- دستورالعمل آزمایشهای آبشویی خاک‌های شور و سدیمی در ایران، نشریه شماره ۲۵۵، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، سازمان مدیریت منابع آب- وزارت نیرو ۱۳۸۱.

۳- مبانی و ضوابط طراحی تجهیز و نوسازی اراضی خشکه زاری (آبیاری ثقلی)، جلد سوم زهکشی، نشریه شماره ۳-۳۴۶ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، معاونت برنامه‌ریزی مؤسسه پژوهشهای برنامه‌ریزی و اقتصاد کشاورزی، وزارت جهاد کشاورزی ۱۳۸۵.

۴- مدیریت مصرف آب در بخش کشاورزی، برآورد تقاضا برای آینده، بحران‌های خشکسالی، وضعیت موجود، چشم‌اندازهای آینده و راه‌کاریی جهت بهینه‌سازی مصرف آب ۱۳۷۹: سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی- وزارت جهاد کشاورزی.

۵- مجموعه مقالات، اولین کنگره برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری امور زیربنایی (آب و خاک) در بخش کشاورزی ۱۳۷۳: سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی- تهران.

6- Dewan, M. L and Famuri, J. 1964: The Soils of Iran, FAO, Rome.

7- Salt-Affected Soils and Their Management 1988: FAO Soils Bulletin, No. 39. FAO. Rome.

8- Soil Survey Investigation for Irrigation. 1979: FAO Soils Bulletin, No. 42, FAO, Rome.

9- Sparks, D. L. 1995: Environmental Soil Chemistry, Academic Press.

10- Szabolcs, Istvan. 1989: Salt- Affected Soils; Boca Raton Florida, CRC Press.

فصل سوم : عوامل مؤثر در گرایش به شوری دیم‌زارها و زمین‌های شالیزار و راهکارهای مقابله با آن

۳-۱- مسایل شوری خاک در دیم‌زارها

علاوه بر زمین‌های تحت آبیاری، مسایل شوری خاک در دیم‌زارها (زمین‌های غیرفاریاب) که در آن انجام امور زراعی مبتنی بر بارندگی است، اعمال موارد خاص و مهم مدیریتی را ضروری می‌نماید. هرچند مسایل شوری در زمین‌های دیم‌زاری و اثرات آن بر منابع آب و خاک از گذشته در بسیاری از نقاط جهان مطرح بوده است، لیکن بذل توجه و عنایت خاص به آن در چند دهه گذشته به‌طور جدی مدنظر قرار گرفته به‌طوری‌که موارد و مشکلات ناشی از این پدیده با دقت نسبی مورد مطالعه و امعان نظر بوده است. به‌گونه‌ای که مسایل شوری در دیم‌زارها اقدامات خاص مدیریتی را در مناطق غرب کشور استرالیا و در جلگه‌های وسیع منطقه شمال آمریکا ایجاب نموده است. همچنین قابل ذکر می‌باشد که در کشور کانادا این معضل به‌صورت متراکم و شدیدی در ایالاتی که زمین‌های آن به صورت علف‌زار (مرغزار) می‌باشند از جمله ایالات مانی توبا، ساسکا چوان و آلبرتا و در کشور ایالات متحده آمریکا در ایالت‌های مونتانا و داکوتای شمالی و جنوبی مطرح می‌باشد. اعتقاد بر آن است که این مشکل در زمین-های دیم‌زاری شمال قاره آفریقا، ایران، افغانستان، تایلند، هندوستان و به‌احتمال قوی در سایر کشورها نیز به‌نحوی وجود داشته باشد.

به‌طورکلی لکه‌های شوری که در زمین‌های دیم‌زاری وجود دارند در مناطق مختلف با نام‌های متفاوت شناخته می‌شوند، لیکن واژه مرسوم " شوری تراوشی[1]" عمومیت و کاربری بیشتری را داراست، این قبیل زمین‌های مسئله‌دار از نظر میزان و شرایط شوری دامنه وسیعی دارند به‌طوری‌که در مناطقی، مشکل شوری کم این زمین‌ها موجب اثرات سوء بر روی رشد و نمو گیاهان مورد عمل و در مناطق بسیار وسیع دیگری به‌دلیل وجود این معضل امکان عملیات کشت و زراعت در آن به طورتقریبی غیرممکن است. در سنوات اخیر مسایل مرتبط با منشاء و مدیریت خاک‌های شور مناطق دیم‌زاری در بعضی مجامع

1- Saline Seeps

بین‌المللی نیز مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

۳-۲- چگونگی تشکیل خاک‌های شور در دیم‌زارها

تراوشات عمقی حاصل از نفوذ آب در زمین‌های شور و دیمزارها به‌عنوان عامل اصلی تجمع نمک‌ها در نقاط تراوشی (اراضی پست) پائین دست و یا حواشی مناطق کوه‌پایه‌ای (اراضی شیب‌دار) در طبیعت شناخته شده است. به‌طوری‌که هرگاه آب در مناطق مرتفع و شور بالادست نفوذ نماید پس از عبور از نیمرخ خاک به لایه نیمه تراوا یا غیرقابل نفوذ رسیده و به تبعیت از شیب زمین‌های کوه‌پایه‌ای به‌طور جانبی به‌سمت مناطق پائین‌دست حرکت می‌نماید. ادامه حرکت آب‌های زیرزمینی از ارتفاعات و یا زمین‌های شیب‌دار به‌سمت زمین‌های پست یا مناطق کوه‌پایه‌ای ، پس از رسیدن به این قبیل مناطق مسطح (و با بافت نسبی سنگین‌تر) موجب کاهش سرعت جریان آب زیرزمینی گردیده و توسط جریان‌های اشباع یا غیراشباع به نزدیکی سطح زمین در مناطق پست و کم ارتفاع خیز می‌نماید. رطوبت موجود در نیمرخ این قبیل خاک‌ها ضمن تبخیر موجب تراکم و افزایش نمکهای محلول در طبقات سطحی نیمرخ خاک‌های ذکرشده خواهد گردید. بنابراین توسعه زمین‌ها با "شوری تراوشی" مشتمل بر دو فرایند منطقه‌ای به‌شرح زیر است.

- منطقه تغذیه‌کننده[1]

- منطقه تغذیه‌شونده[2]

در منطقه تغذیه‌کننده، آب‌های مازاد بر ظرفیت نگه‌داری (بازداشت) در ناحیه توسعه ریشه گیاه در نیمرخ خاک به ناحیه زیر محدوده توسعه ریشه گیاه(هان) نفوذ (عمقی) نموده و به آب زیرزمینی می‌پیوندد که بدین وسیله موجب افزایش میزان جریان به‌سمت منطقه تغذیه شونده (دریافت کننده) خواهد شد، از آن‌جائی‌که جریان آب زیرزمینی از مناطق مرتفع به‌سمت مناطق پست یا کم ارتفاع دربیش‌تر مواقع به‌صورت حرکت جانبی است و نوعی لایه نیمه تراوا یا غیرقابل‌نفوذ نیز در زیر سطح خاک مناطق مرتفع و پست وجود دارد بنابراین آب‌های زیرزمینی ضمن حرکت به‌سمت دشت، نمکهای محلول و موجود در نیمرخ خاک مناطق مرتفع را در خود حل نموده و آن‌ها را به منطقه تغذیه‌شونده ترابری

1- Recharge Area
2- Discharge Area

می‌نماید. زمانی که آب زیرزمینی در منطقه دریافت‌کننده خیز نموده و به نزدیکی سطح خاک برسد "منطقه تراوشی[1]" را تشکیل می‌دهد که آب موجود در آن ضمن تبخیر از ناحیه تراوشی، باعث تراکم نمک‌ها در آن خواهد شد.

۳-۳- عوامل مؤثر بر تشکیل و توسعه مناطق "شوری تراوشی"

اثرات عوامل مشترک چندی از جمله شرایط آب و هوائی، زمین ساختاری، ویژگی‌های خاک و زمین و درنهایت موارد اجتماعی و فرهنگی موجب تشکیل، گسترش و تراکم مناطق با مشکل شوری تراوشی می‌باشند.

- آب مازاد یا اضافی

گستره وسیعی از مناطق دیم‌زاری کنونی که زیرکشت و بهره‌برداری قرار دارند، پیش‌تر به صورت جنگل (با تراکم‌های متفاوت) و یا مناطقی با پوشش درختچه‌ای و علف‌زار متراکم بوده‌اند. در چنین شرایطی بوم‌نظام[2] در حالت تعادل طبیعی بوده است. به‌طوری‌که گیاهان پوششی (درختان، درختچه‌ها و گیاهان علفی) کلیه مقادیر ریزش‌های آسمانی را که در آن مناطق نازل می‌گردید به مصرف می‌رسانده و بدین‌ترتیب سطح آب زیرزمینی در آن نواحی در عمق مناسبی قرار می‌گرفت. پاک‌سازی[3] گیاهان ریشه عمیق و دایمی و تغییر کاربری به‌منظور تولید گیاهان مرتعی و یا زراعی دیم، موجب کاهش آب موردنیاز گیاهان موردعمل گردیده و بدین‌دلیل مقادیر آب مازاد و اضافی (افزون بر ظرفیت نگه‌داری یا بازداشت) در محدوده توسعه ریشه گیاهان در نیمرخ خاک ایجاد خواهد شد. این میزان آب اضافی ضمن نفوذ در ستون خاک و عبور از ناحیه توسعه ریشه گیاهان، موجب خیز سطح ایستابی و در نتیجه آن تشکیل و توسعه موارد شوری در دیم‌زارها می‌گردد. بعضی عوامل مهم و پی‌آمدها در ارتباط یا وجود رطوبت اضافی در نیمرخ خاک‌های مناطق دیم‌زاری به‌شرح زیر است.

1- Seep Area
2- Ecosystem
3- Clearing

- آیش نگه‌داری اراضی

یکی از مهم‌ترین دلایل موجد تراوشات عمقی در اکثر مناطق دیم‌زاری جهان از جلمه بخش وسیعی از اراضی شمال قاره آمریکا انتخاب گزینه "زراعت- آیش" در تناوب بهره‌برداری از زمین‌های دیم‌زاری است. زیرا طی دوره آیش (نکاشت) زمین‌ها، ظرفیت نگهداری آب حاصل از ریزش‌های آسمانی در نیمرخ خاک کاهش یافته و میزان تراوشات عمقی به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش حاصل می‌نماید.

- تراکم ریزش باران

به‌طورکلی مشاهده شده است که در ایام یا سال‌های مرطوبی، به‌دلیل تغذیه بیش‌تر (زمین‌های مرتفع یا مناطق تغذیه‌کننده)، میزان تراوشات عمقی افزایش یافته و در نتیجه آن میزان نمک‌های محلول جریان‌های تغذیه‌کننده مناطق پائین‌دست نیز فزونی می‌یابد که باعث افزایش نسبی تراکم نمک‌ها در مناطق پست یا زمین‌های تراوشی می‌گردد.

- تراکم آب و برف

اقداماتی که منجر به تجمع آب و یا برف در مناطق تغذیه‌کننده می‌گردند از جمله وجود عوارض و موانع فیزیکی نظیر: خاک‌ریزهای حفاظتی، بادشکن‌های تک‌ردیفه، پشته‌های خاکی و مرتفع، خطوط ریلی، جاده‌ها و آزاد راه‌ها موجب تجمع آب و یا برف در مناطق تغذیه‌کننده گردیده و می‌تواند منشاء تراوشات عمقی قابل ملاحظه‌ای گردند. همچنین حوضچه‌های ذخیره و نگه‌داری آب طبیعی و یا ساخته شده در صورتی که در مناطق مذکور قرار داشته باشند می‌توانند به‌طور موضعی اثرات مشابه‌ای بر روی میزان تراوشات عمقی در مناطق تغذیه‌کننده داشته باشند.

- چرای بی‌رویه

مراتعی که مورد چرای بی‌رویه احشام قرار گیرند. در مقایسه با شرایط طبیعی قادر به نگه-داری میزان آب (رطوبت) کمتری می‌باشند که بدین‌دلیل مقادیر روان‌آب سطحی و تراوشات عمقی در آن‌ها افزایش خواهد یافت.

- ویژگی‌های خاک و زمین

خاک‌های درشت بافت دارای ظرفیت نگهداری آب (رطوبت) کم و میزان نفوذپذیری زیادی می‌باشند. به‌دلیل آن‌که خاک‌های مناطق تغذیه‌کننده دراغلب موارد چنین ویژگی‌هایی را دارند، بنابراین قابلیت تراوائی و انتقال آن‌ها موجب تشدید فرایند تشکیل خاک‌های با شوری تراوشی در مناطق پایین‌دست (ناحیه تغذیه‌شونده) می‌گردد. در بعضی مناطق سنگ بستر منشاء دریائی[1] داشته و مشتمل بر بخش‌های مدفون شده‌ای سرشار از نمک‌های محلول است. انحلال این نمک‌ها و ترابری آن‌ها به‌وسیله تراوشات عمقی آب می‌تواند موجب مسایل جدی شوری خاک و زمین‌های پائین‌دست (مناطق دامنه کوه-پایه‌ای و یا زمین‌های پست) گردد. لیکن در اکثر حالت‌ها سنگ بستر مناطق مذکور منشاء دریائی نداشته و در نتیجه نمک‌های محلول و یا قابل‌انحلال در آن از هوادیدگی عادی اجزاء معدنی خاک تشکیل یافته‌اند. نمک‌های محلول اضافی به‌ندرت در محل و منشاء تشکیل خاک‌های موردنظر مسئله‌ساز می‌باشند.

۳-۴- راه‌های مقابله و مدیریت زمین‌ها با شوری تراوشی

از آن‌جائی‌که فرایند "شوری تراوشی" در اکثر حالات با افزایش میزان تراوش در منطقه تغذیه‌کننده فزونی می‌یابد بنابراین هر نوع راه حل طولانی‌مدت برای مقابله با مشکل باید مرتبط با مورد کاربری زمین‌ها آن‌هم در سطح منطقه‌ای که تغییر کاربری در آن به‌انجام رسیده مورد اقدام قرارگیرد تا بتوان حداقل بخشی از تغییرات حاصله را جبران نمود و بدین ترتیب اهتمام در برقراری مجدد تعادل هیدرولوژیکی منطقه لازم به توجه است، تا بدینوسیله حداقل ضمن بررسی ویژگی‌های خاص عرصه، امکان اصلاح خاک‌های متأثر از شوری فراهم گردیده به‌طوری‌که باردهی یا حاصل‌خیزی از دست رفته خاک‌های مورد نظر تاحدامکان بهبودی حاصل نماید. از آن‌جائی‌که موارد بیان شده بسیار پیچیده می‌باشند بدین‌د لیل و به‌طور اصولی باید دو استراتژی اصلی برای هر منطقه که مشتمل بر دو اقدام توامان تغییر کاربری زمین‌ها و اصلاح مشکلات عرصه مورد نظر است، هم‌زمان مورد توجه و اقدام قرار گیرد. برای دست‌یابی به این استراتژی‌ها ضرورت دارد که بررسی‌های تفصیلی در زمینه فرایند گرایش به

1- Marine Origin

شوری (و یا شوری و سدیمی شدن زمین‌ها) و در ارتباط با منشاء و نحوه انتقال نمک‌ها در محدوده مورد مطالعه به‌انجام رسد. بعضی توصیه‌های عملی مرتبط با موارد بالا را می‌توان به شرح زیر خلاصه نمود.

۳-۴-۱- اقدامات لازم برای منطقه تغذیه‌کننده

هر نوع اقدام یا تمهیدی که منتج به مصرف آب بیشتر در منطقه تغذیه‌کننده شود، می‌تواند موجب کاهش میزان آب مازاد و یا اضافی در آن ناحیه گردیده که در نتیجه آن باعث کاهش میزان جریان تراوشات عمقی و تعدیل مسایل شوری ناشی از آن گردد.

- اقدام به زراعت متراکم

اهتمام به اعمال امر زراعت متراکم و تعدیل دوره آیش زمین‌ها می‌تواند متضمن مصرف آب بیش‌تر در منطقه تغذیه‌کننده گردیده و موجب کاهش قابل ملاحظه تراوشات عمقی شود که پی‌آمد آن کاهش مسایل شوری در مناطق پائین‌دست خواهد بود.

- کشت گیاهان دایمی و ریشه عمیق

به‌طورکلی گیاهان از نظر توسعه ریشه دوانی همچنین از نظر مصرف آب طی فصول مختلف سال متفاوت می‌باشند. تحقیقات به‌انجام رسیده در ایالت مونتانا نشان می‌دهد که از بین گیاهان تجربه شده، یونجه حداکثر سیستم توسعه ریشه را تا حد ۶/۱ متر داشته است، که بدین‌وسیله میزان آب مصرف شده از نیمرخ خاک سالیانه حدود ۷۸۷ میلی‌متر گزارش گردیده، در همین مورد اثرات اجرای یک دوره کشت شش ساله یونجه در منطقه تغذیه‌کننده مشرف به زمین‌های شوری تراوشی مورد بررسی قرارگرفت. در نخستین سال اجرای آزمایش عمق سطح ایستابی در منطقه تغذیه‌شونده برابر با ۰/۳ متر زیر سطح خاک و در منطقه تغذیه‌کننده در عمق ۶/۲ متری قرار داشت. شش سال بعد سطح ایستابی در منطقه تغذیه شونده به ۲/۹ متری سطح خاک تعمیق گردید و در ناحیه تغذیه‌کننده به ۲/۰ متری سطح خاک افزایش (خیز) حاصل نمود. لازم به یادآوری است که در همین زمینه تحقیقات دیگری در ارتباط با نوع گیاه، گزینه‌های زراعی مطلوب و سایر بررسی‌های اگروتکنیکی به‌انجام رسیده و یا در دست اقدام می‌باشد.

- زهکشی زمین‌ها

زهکشی سطحی حوضچه‌های ذخیره یا نگه‌داری آب طبیعی و یا ساخته شده در منطقه تغذیه کننده اقدامی مؤثر، مهم و در اکثر حالات روش کم‌هزینه‌ای برای کنترل آب اضافی در منطقه تراوش محسوب می‌گردد. به بیانی دیگر اعمال امر زهکشی سطحی نواحی که دارای شرایط "آب ماندگی" در منطقه تغذیه‌کننده می‌باشند، در مقایسه با انجام عملیات زهکشی درزمین‌های با حالت شوری تراوشی باید از اولویت ترجیحی برخوردار باشد، زیرا زهکشی زمین‌های پست (با شوری تراوشی) متضمن فراهم بودن شرایط لازم برای تخلیه و دفع زه‌آب‌های باکیفیت نامطلوب، وجود محل‌های تخلیه مناسب و غیره می‌باشد. ضمن آن‌که در اکثر حالت‌ها اجرای زهکشی سطحی برای تخلیه و دفع آبهای اضافی موجود در مناطق تغذیه‌کننده کفایت می‌نماید. در شرایطی نیز اجرای سامانه زهکشی زیرزمینی برای اصلاح و احیاء زمینهای مناطق تغذیه‌شونده (دریافت‌کننده تراوشات) می‌توان مطرح باشد که اقدام به‌نسبت پر هزینه‌ای است.

۳-۴-۲- اقدامات لازم برای منطقه تغذیه‌شونده

- عملیات زراعی

مشابه آنچه درخصوص مناطق تغذیه‌کننده بیان شد، اقدام به کشت گیاهان متراکم، ریشه عمیق و دایمی که دارای آب موردنیاز و مصرفی قابل ملاحظه‌ای می‌باشند می‌تواند متضمن کاهش تراوشات عمقی و در نتیجه جلوگیری از فرایند شور شدن زمین‌ها به‌دلیل نگه‌داری سطح ایستابی در اعماق مناسب، موثر باشند.

- زهکشی زمین‌ها

هدف از اعمال امر زهکشی در زمین‌های منطقه تغذیه‌شونده، تعمیق سطح ایستابی و آبشوئی نمک‌های محلول از محدوده توسعه ریشه گیاهان است. لیکن احداث زهکش زیرزمینی و آب-شوئی نمک‌ها توسط کاربرد آب مناسب، به‌طور معمول در مناطق دیم‌زاری اقتصادی نمی‌باشد هرچند در این مورد در مناطق معدودی بررسی‌های زهکشی به‌همراه ارزیابی‌های متفاوتی از عملکرد آن نیز به‌انجام رسیده است بعضی پژوهشگران آزمایش‌هائی را با استفاده از زهکش‌های

مول[1] در مزرعه به‌انجام رسانیده‌اند. به‌طور کلی این روش زهکشی عبارت از ایجاد حفره‌های افقی در زیر سطح خاک و به طورتقریبی به‌موازات سطح مزرعه است که به‌کمک وسیله‌ای دوکی شکل که به‌وسیله تراکتور کشیده می‌شود، ایجاد می‌گردد، طول مخروط دوکی شکل حدود ۰/۷۵ متر و شعاع آن بسته به نوع خاک، قدرت کشش تراکتور بین ۱۰۰–۵۰ میلی‌متر تغییر می‌نماید حفره ایجاد شده می‌تواند به‌عنوان یک تنبوشه طبیعی عمل نموده و زه‌آب‌های نفوذی را دریافت و به‌خارج هدایت نماید. مخارج احداث این سامانه از روش‌های دیگر زهکشی کم‌تر است و عمر مفید آن در شرایط مطلوب حداکثر حدود پنج سال است و پس از آن احتیاج به تجدید ایجاد زهکش مول پیش خواهد آمد. این سامانه زهکشی در واقع موقتی تلقی می‌شود و اطمینانی بر طول عمر مفید آن نمی‌توان قائل گردید. کاربرد آن در خاکهای رسی و سنگین در حد رطوبت معینی است. به‌طوری‌که حفره‌های ایجاد شده پایدار و اصولاً امکان ایجاد آن نیز وجود داشته باشد، در زمین‌های کم شیب احداث آن توصیه نمی‌شود زیرا به دلیل کمی شیب جریان آب در چنین حفره‌هائی به‌کندی صورت می‌پذیرد. به‌علت محدودیت عمق ایجاد آن برای زراعت‌های ریشه عمیق و درختان میوه مناسب نمی‌باشند از طرفی کاربرد آن در سطوح وسیع نیز توصیه نمی‌شود. بررسی‌های دیگری ،احداث زهکش‌های مول در مزرعه آزمایشی با عمق احداث ۰/۷–۰/۶ متر را ، با طول عمر مفید ۳–۲ سال گزارش نمودند.

طبق گزارش‌های منتشره به‌وسیله بعضی پژوهشگران، اجرا و احداث سامانه زهکش‌های زیرزمینی در اکثر زمین‌ها با منشاء شوری تراوشی توجیه‌پذیر نیست. زیرا میزان نفوذپذیری (هدایت هیدرولیکی اشباع) این قبیل خاک‌ها به‌دلیل وفور رس‌های نوع مونت‌موریلونیت و در اکثر حالات بالا بودن نسبت جذب سدیم (SAR) در محلول خاک بسیار آهسته بوده، به‌علاوه مسایل تخلیه و دفع زه‌آب‌ها به‌همراه عدم امکان دست‌یابی به ماشین‌آلات سنگین زهکشی و مشکلات تعیین محدوده دقیق زمین‌ها با شوری تراوشی نیز در آن‌ها مطرح می‌باشد. ضمن آن‌که هزینه تهیه و نصب تجهیزات زهکشی در اغلب موارد از ارزش واقعی زمین زیادتر است. با عنایت بر آنچه بیان گردید بهتر آن است که موارد تطبیق و به کارگیری مورد زهکشی در چنین شرایطی معطوف به مناطق تغذیه‌کننده گردیده و از کنترل سطح ایستابی و انجام امور زهکشی در مناطق تغذیه شونده احتراز گردد.

1- Mole Drains

- کشت گیاهان مقاوم به شوری

کشت گونه‌های گیاهی مقاوم به شوری یکی از روش‌های منطقی بازگشت بخشی از هزینه‌های مصرفی است که برای اصلاح و احیاء زمین‌ها با شوری تراوشی موردنیاز است. پژوهشگرانی نیز تحقیقاتی را در زمینه مقاومت نسبی به شوری بعضی گونه‌های گیاهی را در تعدادی از ایالات کشور استرالیا به انجام رسانیده و گزارش نمودند که کشت آن‌ها در خاک‌های شور تراوشی ارزشمند بوده است. این گیاهان عبارت بودند از: چمن گندمی بلند، آتریپلکس، جو وحشی، علف جاروئی، چچم سخت، چمن پایابی، سیاه ناو، بذرانداز و شبدر. مطالعات به‌انجام رسیده به‌وسیله بعضی محققین در کشور کانادا نشان داده است که برای خاک‌هائی که تحت تأثیر شوری متوسطی قرار دارند (هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک تا حد ۸/۵ دسی‌زیمنس‌برمتر) از میان غلات آزمایش شده جو شش ردیفه در مقایسه با سایر ارقام و واریته‌های مورد عمل، عملکرد بیشتری داشته است و برای خاک‌های با شوری بیشتر زراعت مخلوط یونجه با علوفه مقاوم به شوری از قبیل: چمن‌گندمی بلند، چمن گندمی تاج خروسی، چمن‌گندمی‌کرکدار و علف‌بره چمن زاری عملکرد مطلوبی حاصل نمودند. و هرگاه میزان شوری حتی زیادتر نیز باشد (بیشتر از ۱۴/۰ دسی‌زیمنس‌بر متر) کشت گیاهان و علوفه فصلی و یا یک‌ساله توصیه نگردیده است. لیکن نوعی علف هرز مرتعی و پر محصول به‌نام علف جاروئی با نام علمی (*Kochia scoparia.L*) که به‌طور طبیعی رویش می‌یابد، علوفه بسیار مناسب و با ارزش تعلیفی مطلوبی محسوب می‌گردد.

۳-۵- لزوم کنترل شوری در زمین‌های شالیزار

عامل اصلی شوری در زمین‌های شالی‌زار، نمک کلرورسدیم (NaCl) می‌باشد، هر چند نمک سولفات‌سدیم (Na_2SO_4) نیز به‌صورت موضعی در بعضی مناطق به میزان زیاد و زیان‌آوری یافت می‌گردد. غلظت زیاد نمک‌های محلول کلسیم و منیزیم در ارتباط با زراعت برنج مسئله‌ساز نمی‌باشند زیرا تراکم این‌گونه نمک‌ها به‌طورعمده در خاک‌های مناطق بسیار خشک است که به‌طورمعمول در این قبیل نواحی زراعت برنج کمتر مورد اقدام قرار می‌گیرد.

طبق بررسی‌های به‌انجام رسیده، تأخیر در جذب آب و مواد غذایی به‌وسیله گیاه برنج و در شرایط کشت مستغرق، به‌دلیل تراکم میزان کلرور سدیم به‌ترتیب اهمیت عبارتند از: آب، پتاسیم، فسفر، اکسیژن و ازت آمونیاکی. بدین ترتیب ملاحظه می‌گردد که در شرایط مذکور، کاهش جذب آب (H_2O) به‌وسیله ریشه گیاه قابل‌ملاحظه است ضمن آن‌که پژوهش‌های انجام یافته نشان می‌دهد، وجود و وفور نمک کلرورسدیم بیش از حد مجاز به‌طور مستقیم موجب اختلال در امر تنفس گیاه نگردیده، بلکه ضمن متاثر نمودن بخش-های اصلی اندام‌های گیاهی (ریشه و آسمانه[1]) موجب بروز و توسعه نوعی "خشکی فیزیولوژیکی" می‌گردد که به‌دلیل عدم امکان جذب آب به‌وسیله ریشه گیاه و فرایند تعرّق[2] است. لیکن عدم جذب پتاسیم ممکن است به‌دلیل اثر متقابل[3] بین این عنصر و یون سدیم (Na^+) باشد. درخصوص کاهش میزان جذب سایر عناصر در مقادیر شوری ناشی از کلرور سدیم نیز استنباط‌های علمی متفاوتی وجود دارد که به‌استناد آن‌ها می‌توان نتیجه گرفت، اثرات زیان‌بار این نمک به‌طورعمده فیزیولوژیکی بوده و بدین‌دلیل موجب اختلال در جذب عناصر و مواد غذایی مورد نیاز گیاه می‌گردد.

به‌طورکلی، برنج به‌عنوان گیاهی نسبتاً مقاوم (MT) به شوری شناخته می‌شود، به‌طوری-که مقادیر کاهش عملکرد محصول در شوری‌های ۳/۰، ۳/۸، ۵/۱ و ۷/۲ دسی‌زیمنس‌بر-متر (dS/m) به ترتیب مترادف با صفر، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰درصد می‌باشد و رشد این گیاه در حد شوری ۱۱/۵ دسی‌زیمنس‌برمتر در عصاره اشباع خاک متوقف می‌گردد. علاوه بر آن میزان مقاومت گیاه به شوری به نوع رقم یا واریته مورد عمل نیز بستگی دارد به-طوری‌که بعضی ارقام مقاومت بیشتری نسبت به ارقام دیگر را نمودار می‌سازند، لیکن هیچ‌کدام از واریته و یا ارقام مقاوم آن، قادر به تحمل شوری در مقایسه با سایر گیاهان زراعی مورد عمل در مناطق خشک و زمین‌های متأثر از شوری زیاد نمی‌باشند. به‌طوری‌که پیش‌ترذکر گردید بیش‌ترین خسارت ناشی از شوری در زراعت برنج مرتبط با نمک کلرورسدیم است و تراکم نمک سولفات‌سدیم در خاک کمتر موجب صدمه جدّی (مسمومیت) به گیاه و عملکرد آن می‌گردد. بررسی‌های به‌انجام رسیده نشان می‌دهد که

1 - Canapy
2- Transpiration
3- Antagonism

میزان مقاومت به شوری گیاه طی مراحل مختلف رشد رویشی[1] و زایشی[2] آن تغییر حاصل می‌نماید، به‌طوری‌که گیاه در مرحله جوانه زدن به شوری مقاوم است، لیکن گیاه‌چه‌های جوان تا هفته چهارم به شوری حساس می‌باشند، خسارت ناشی از شوری به گیاه برنج طی دورهٔ نشاءکاری به‌دلیل حساسیت گیاه‌چه‌ها (نشاءها) افزایش می‌یابد و دوباره در دوره پنجه زدن مقاومت آن نسبت به شوری افزایش حاصل می‌کند، سپس طی مرحله گل‌دهی گیاه نسبت به شوری (آبِ خاک) حساس گردیده و این حساسیت در دوره رسیدن محصول بار دیگر کاهش می‌یابد. نکته قابل ذکر آن است که گیاه برنج در یک میزان مشخص شوری، در تراکم زیاد نور و مقادیر رطوبت نسبی کم هوا به مسئله شوری حساسیت بیشتری نمودار می‌سازد. این گیاه قادر است در سطح شوری معینی، در فصول مرطوبی نسبت به فصول خشک مقاومت بیشتری را نمایان سازد.

شرایط قلیائیت زیاد که به‌دلیل تراکم بیش از حد نمک‌های "بی‌کربنات و کربنات‌سدیم" به وجود می‌آید نیز موجب خسارت به گیاه برنج می‌گردد، هرچند عوامل متعددی در کاهش عملکرد آن مؤثر می‌باشند، لیکن در مقادیر واکنش (pH) قلیائی کمبود روی (Zn) در گیاه ظاهر می‌گردد، علاوه برآن بالا بودن میزان بی‌کربنات در محلول خاک می‌تواند موجب رسوب کلسیم به‌صورت نمک کربنات‌کلسیم ($CaCO_3$) گردیده و موجب کمبود کلسیم (Ca) در گیاه گردد کمبود عنصر پتاسیم (K) و کاهش قابلیت دسترسی گیاه به سایر عناصر مورد نیاز نیز می‌تواند عامل دیگری برای کاهش عملکرد محصول برنج گردد. کمبود آهن (Fe) در شرایط غرقاب متناوب زراعت برنج در زمین‌های سدیمی (قلیائی) نیز گزارش شده است.

خاک‌های بسیارسدیمی، محتوی مقادیر زیادی یون سدیم در همتافت تبادلی خاک می‌باشند هرچند گیاه برنج مقاومت نسبی بیشتری را در مقایسه با سایر گیاهان زراعی نسبت به یون سدیم موجود در خاک دارا می‌باشد، لیکن چنین به‌نظر می‌رسد که کاهش قابل ملاحظه در عملکرد محصول در مقادیر درصد سدیم تبادلی (ESP) بیشتر از ۵۰/ حاصل گردد. متأسفانه در اکثر حالت‌ها تشخیص و تفکیک خسارات ناشی از بالا بودن میزان سدیم تبادلی و مقادیر واکنش (pH) زیاد در عصاره اشباع خاک بسیار مشکل است.

1- Vegetative
2- Generative

در خاک‌های با حالت سدیمی زیاد کاربرد مواد معدنی ازت‌دار نظیر آمونیوم یا اوره موجب تصعید[1] سریع آن‌ها به‌صورت گاز آمونیاک می‌گردد.

گزارش‌های دیگری مؤید آن است که مناسب‌ترین واکنش (pH) برای زراعت برنج ۶/۰-۵/۵ می‌باشد. ضمن آن‌که محدوده وسیعی از خاک‌ها برای کشت برنج مناسب هستند لیکن خاک‌های سنگین بافت به‌دلیل ناچیز بودن میزان تراوشات عمقی آن‌ها در شرایط استقراق کشت برنج مطلوبتر می‌باشند.

۳-۶- علل گرایش کیفیت زمین‌های شالی‌زار به شوری و قلیا شدن

به‌طورکلی، در اراضی ساحلی وجود و یا نفوذ آب از سطوح آبی شور (دریا، دریاچه و غیره) و یا فرایند تبخیرسطحی رطوبت از نیمرخ خاک‌های ماندابی و زه‌دار، حتی در آن قبیل زمین‌هایی که در ابتدا دارای میزان شوری کمی بوده‌اند، از جمله علل عمومی گرایش کیفیت زمین به شوری است. آبهای نفوذی در مناطق پر باران نیز گاه می‌تواند عامل مهم شوری خاک‌های شالی‌زار گردد. درحالی که در نواحی خشک و نیمه‌خشک که میزان تبخیر به مراتب از مقدار ریزش‌های آسمانی بیشتر است، عامل تبخیر و تغلیظ نمک‌ها در نیمرخ خاک‌ها عامل اصلی گرایش به شوری زمین‌ها (ازجمله خاکهای شالی‌زاری) می‌باشد. در شرایطی نیز فرایندهای توامان نفوذ آب از سطوح آبی (حتی با شوری متوسط) و تبخیر سطحی هم‌زمان عمل نموده و موجبات نامطلوب شدن کیفیت زمین‌ها را فراهم می‌آورد. قلیائیت شدید خاک‌ها که عامل زیان‌بار دیگری است، مرتبط با وجود یا تراکم نمک‌های بی‌کربنات و کربنات سدیم در محلول خاک می‌باشد، تجمع این نمک‌ها در نیمرخ و محلول خاک در بعضی شرایط، متاثر از آب‌های زیرزمینی کم عمق که سرشار از نمکهای ذکرشده است، می‌باشد به‌طوری‌که آن نمک‌ها از طریق فرایند تبخیر به لایه‌های بالائی نیمرخ خاک انتقال می‌یابند. تراکم بیش از حد یونهای بی‌کربنات که در اثر تبخیر و تغلیظ نمک‌ها حاصل می‌گردد موجب رسوب نمک‌های کربنات کلسیم و منیزیم گردیده و پی‌آمد فرایند تبخیر باعث عدم تحرک بخشی از یون‌های بی‌کربنات در خاک خواهد شد. لیکن در مقادیر زیاد بی‌کربنات که به‌نام "قلیائیت باقی مانده[2] " موسوم است، افزایش

1- Volatilization
2- Residual Alkalinity

واکنش (pH) خاک حتی درصورتی که مقادیر نمک بی‌کربنات به‌میزان کمی وجود داشته باشد، به‌وقوع می‌پیوندد. در خاک‌های بسیارقلیا، نمک‌های کربنات و بی‌کربنات سدیم به‌عنوان نمک‌های غالب عمل نموده و یون سدیم (Na^{+}) در همتافت تبادلی خاک جایگزین یون‌های کلسیم (Ca^{2+}) و منیزیم (Mg^{2+}) می‌گردد که بدین‌دلیل خاک‌دانه‌های موجود به شدت گسیخته و پراکنده شده و شرایط نفوذناپذیری را برای نفوذ و تحرک آب به سطح و درون خاک فراهم می‌نمایند.

شرایط قلیا شدن اراضی که به‌دلیل وجود "قلیائیت باقی‌مانده" بروز و توسعه می‌یابد به زمینهای شالی‌زاری مناطق خشک و نیمه‌خشک محدود می‌گردد که از جمله دلایل موجودیت حالت قلیائیت باقی‌مانده در منابع آب سطحی و زیرزمینی بیشتر مرتبط با وفور و غالبیت صخره‌های گرانیتی در حوضه‌های آبریز مناطق مربوطه است.

در اراضی باطلاقی فرایند قلیا شدن[1] [افزایش میزان واکنش (pH)] بیشتر مرتبط با فعالیت‌های میکروبی است که منجر به پدیده احیا، شدن سولفات می‌گردد که در این شرایط مواد آلی اکسیده گردیده و تشکیل بی‌کربنات را می‌دهد، ضمن آنکه سولفات به شکل گاز سولفید هیدروژن (H_2S) تغییر حالت می‌دهد.

چگونگی توسعه و تشکیل خاک‌های مبتلا به "مسایل شوری و قلیائیت" در زمین‌های شالی‌زار متفاوت است به‌طوری‌که در ابتدا می‌توان این‌گونه خاک‌ها را با توجه به منشاء و گسترش آن‌ها در مناطق مختلف به‌شرح زیر طبقه‌بندی نمود، هرچند علل بروز و توسعه این نوع خاک‌ها به‌صورت مجرد قابل تفکیک نبوده و شرایط تبدیلی، بینابینی و یا تلفیقی عوامل مؤثر می‌تواند به‌صورت موضعی و مقطعی متفاوت باشد.

- شوری دریایی[2]

این قبیل زمین‌ها توسط نفوذ آب شور دریا، به‌صورت جریان‌های سطحی و یا تراوشات زیرزمینی به‌وجود می‌آیند.

1- Alkalinization
2- Marine Salinity

- شوری و قلیائیت درون جریانی[1]

این نوع زمین‌ها به‌دلیل اثرات نفوذ جانبی آب زهکش‌های منطقه که منتقل‌کننده نمک-های حاصل از هوادیدگی کریستال‌های نمک و یا نمک‌های محلول ناشی از حلالیت ترکیبات رسوبی بالادست مناطق شالی‌زاری است، حاصل می‌گردند.

- شوری و قلیائیت آب زیرزمینی

در اراضی پست یا زه‌دار به‌طورمعمول آب زیرزمینی در اعماق نسبی کمی از سطح خاک قرار دارد که بدین‌ترتیب فرایندهای تبخیر و یا خیزموئینگی می‌تواند موجب تراکم و تجمع نمک‌ها در لایه‌های سطحی نیمرخ خاک‌ها گردد.

- شوری و قلیائیت آب‌های سطحی

آب‌های مازاد و یا رطوبت زیاد خاک‌ها که به‌دلیل جریان‌های سیلابی و یا طغیانی رودخانه‌ها و یا اعمال امر آبیاری بی‌رویه حاصل می‌گردند به‌دلیل نفوذپذیری کم خاک‌ها و یا فرآیند سریع تبخیر فرصت خروج به‌صورت نفوذ عمقی (زهکشی طبیعی) را نداشته در نتیجه موجبات گرایش به شوری و قلیائیت زمین‌های مربوطه را فراهم می‌آورند.

۳-۷- روش‌های مقابله با مشکل شوری و مدیریت زمین‌های شالی‌زار

به‌طوری‌که پیش‌تر متذکر گردید، اثرات و خسارات عامل شوری بر گیاه برنج به‌شرح زیر می‌باشند:

- **اثرات مستقیم،** موجب عدم جذب آب به‌وسیله ریشه گیاه، به‌دلیل افزایش فشار اسمزی در محلول خاک گردیده که پی‌آمد آن نوعی "خشکی فیزیولوژیکی" در گیاه است.
- **اثرات غیرمستقیم،** توسط برهم خوردن توازن تغذیه‌ای و اختلال در "متابولیسم گیاهی"، به‌دلیل جذب بیش از حد یون‌هائی نظیر سدیم (Na^+) و کلر (Cl^-) در محلول خاک که در شرایط شوری آب خاک سرشار از این یون‌ها می‌باشد.

گیاه برنج که در شرایط استغراق آب آبیاری و در خاک‌های خیلی‌شور، رشد و نمو نموده باشد، حاوی مقادیر قابل‌ملاحظه‌ای ازت کل، ازت پروتئینی و به‌خصوص ازت محلول

1- Interflow

می‌باشد، و این در شرایطی است که جذب بعضی یون‌ها نظیر کلسیم (Ca^{2+}) و پتاسیم (K^{+}) به‌وسیله گیاه کاهش قابل ملاحظه‌ای خواهد داشت.

باتوجه به موارد بالا ملاحظه می‌گردد که لزوم کنترل شوری در زمین‌های شالی‌زار، همانند خاک‌های تحت کشت و آبیاری به‌منظور دست‌یابی به عملکرد مطلوب و اقتصادی ضروری می‌باشد. درخصوص شوری‌زدائی (نمک‌زدائی[۱]) اراضی تحت کشت گیاه برنج دو روش عمومی مرسوم است.

- **روش استغراق زمین‌های شالی‌زار به‌وسیله آب آبیاری و شوری‌زدائی (نمک‌زدائی) زمین‌های زیرکشت برنج به‌وسیله تراوشات عمقی حاصل از اعمال امر آبیاری**

در هر دو روش متذکره نیاز به کاربرد مقادیر معتنابهی آب آبیاری می‌باشد، زیرا روش موثر دیگری که متضمن رفع مشکل شوری در زمین‌های شالی‌زار باشد وجود ندارد. در ایام و یا مناطقی که مقادیر آب لازمه فراهم نباشد و یا مسئله کمبود آب آبیاری یا آبشوئی وجود داشته باشد، مورد شوری‌زدائی خاک‌های مبتلابه را باید به‌وسیله نگه‌داشت ریزش‌های آسمانی بر روی قطعات مرز و کرت‌بندی شده شالی‌زاری به‌انجام رسانید. که در این شرایط حتی اگر مقادیر بارندگی قابل ملاحظه نیز باشد و با اذعان به این مهم که به‌هرحال این روش نیز می‌تواند در آبشوئی نمک‌های محلول و به میزان قابل‌توجهی مؤثر افتد لیکن در مقایسه با یک‌بار استغراق سطح اراضی به‌وسیله آب آبیاری در امر شوری‌زدائی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک‌ها کمتر مؤثر است. به‌هرحال تا زمانی که امکانات تهیه منابع آب آبیاری مطمئنی وجود نداشته باشد، روش بیان شده (استغراق آب ناشی از ریزش‌های آسمانی) می‌تواند به‌طور موضعی و مقطعی در تعدیل مسئله مؤثر باشد.

۳-۷-۱- نمک‌زدائی (شوری‌زدائی) زمین‌های شالی‌زار توسط استغراق سطح خاک‌ها

در این روش آب‌شوئی، آب آبیاری با عمق معینی بر روی سطح زمین‌های شالی‌زار (کرت‌ها) پخش و برای مدت زمان معینی بر روی سطح کرت‌ها نگه‌داری می‌گردد. نمک‌های محلول لایه سطحی نیمرخ خاک توسط فرایند "پخشیدگی" با آب استغراقی اختلاط یافته

۱- زیرا در این مورد دفع نمک (کلرور سدیم) اضافی مورد نظر است.

و ضمن تخلیه آب سطحی (زهکشی) نمک‌های محلول و موجود در آن به‌خارج تخلیه و دفع می‌گردد.

۳-۷-۲- شوری‌زدائی (نمک‌زدائی) زمین‌های شالی‌زار به کمک تراوشات عمقی آب کاربردی

در این روش همانند مورد قبل، پس از نگه‌داشتن عمق معینی از آب آبیاری بر روی سطح زمین-ها (کرت‌های شالی‌زاری) مقادیری از نمک‌ها اختلاط یافته با آب استغراقی از طریق زهکشی سطحی از لایه‌های سطحی خارج می‌گردد و به‌دلیل اشباع بودن نیمرخ خاک (به‌طورعمده طبقات سطحی)، مقادیری از آب موجود در خاک در اثر نیروی ثقل به‌صورت تراوشات عمقی به لایه‌های زیرین نیمرخ خاک نیز نفوذ می‌نماید که تراوشات عمقی حاصله در نهایت به‌وسیله زهکش‌های باز و یا زیرزمینی (در صورت موجود بودن) از نیمرخ خاک خارج می‌گردند که بدین-وسیله امر شوری‌زدائی طبقات خاک موردنظر تسهیل می‌گردد.

توصیه : به‌منظور دست‌یابی به نتایج مطلوبتری در مورد شوری‌زدائی نمک‌های محلول از نیمرخ خاکها با استفاده از روش‌های ذکرشده، بهتر آن است که کفه شخم[1] زمین‌ها را قبل از استغراق به وسیله آب آبیاری زیر خاک‌کنی[2] نموده و یا به‌وسیله شخم عمیق نفوذپذیری لایه‌های سطحی نیمرخ خاک را افزایش داد در این زمینه طبق نتایج حاصل از یک‌سری تجربیات موفق مشخص شده است که پس از ۶-۵ بار استغراق سطح کرت‌های شالی-زاری به‌وسیله آب کاربردی و تخلیه سطحی آن (زهکشی سطحی)، نمک‌های محلول نیمرخ لایه‌های سطحی خاک تا حد ۰/۴ درصد[3] کاهش حاصل نمود، که این رقم مترادف با ۰/۱ تراکم اولیه نمک‌های محلول و تجمع یافته در لایه‌های مربوطه بوده است، لیکن در آن قبیل زمین‌ها که عملیات تهیه فیزیکی خاک با روش‌های ذکرشده، قبل از اعمال آبشوئی به انجام نرسیده است، حد نهائی کاهش نمک‌ها در شرایط یکسان کاربرد آب استغراقی فقط به میزان ۵۰درصد نمک‌های محلول و متراکم اولیه نیمرخ خاک بوده است.

1-Plow Pan

2- Sub Soiling

۳- در صد نمک = ECe(dS/m) × SP × ۰.۰۶۴ در این رابطه در صد اشباع بر حسب اعشاری بکار می‌رود.

در عمل به‌منظور حصول نتیجه مطلوب، ضرورت دارد که ابتدا عمق معینی از آب آبیاری را بر روی سطح مزرعه به‌حالت استغراق نگه‌داری نمود و پس از فروکش (کاهش) عمق آب استغراقی به میزان چند سانتی‌متر (میزان تبخیر از سطح آب نگه‌داری شده بر روی سطح مزرعه + تراوشات عمقی آب کاربردی) و به‌فاصله زمانی ۳-۲ روز، مقادیر آب استغراقی باقی مانده را تخلیه (زهکشی سطحی) و دفع نمود و با رعایت مدت زمان کوتاهی دوباره سطح مزرعه را به‌حالت استغراق در آورد (روش آبشوئی متناوب) و این اقدام را تا حصول نتیجه مطلوب ادامه داد.

در مورد شوری‌زدائی (نمک‌زدائی) نیمرخ خاک‌های شالی‌زاری توسط تراوشات عمقی آب آبیاری، هر چه نهرهای باز زهکشی و زهکش‌های زیرزمینی عمیق‌تر و متراکم‌تر طراحی و تعبیه گردند کارائی آن‌ها بیش‌تر خواهد بود، به‌طوری‌که هرگاه خطرات ناشی از شوری خاک در زارعت برنج قابل ملاحظه‌تر باشد، احداث شبکه زهکش‌های زیرزمینی (مزرعه‌ای) به‌فواصل ۸-۵ متر توصیه می‌گردد لیکن در مواقعی که گزند ناشی از شوری خاک‌های شالی‌زاری به‌طور نسبی زیاد نباشد می‌توان فواصل بین دو خط زهکش زیرزمینی را تا ۱۰ متر نیز در نظر گرفت و این فاصله به‌طوریقین در خاک‌های سبک بافت می‌تواند بیش‌تر نیز منظور گردد.

از آن‌جائی‌که در حالت استغراق زراعت برنج وجود مقادیری نفوذ عمقی به‌دلیل عدم خسارت شرایط احیاء شدن عناصر، مواد و جلوگیری از ایجاد صدمه و مسمومیت به ریشه گیاه ضرورت کامل دارد. بدین‌دلیل لزوم داشتن مقادیری نفوذ عمقی در حد ۴-۲ میلی‌متر در روز (بسته به نوع خاک و شرایط اعمال عملیات گلخرابی[1] ضروری است. عوامل موثر بر میزان تراوشات عمقی در زارعت برنج را به‌شرح زیر می‌توان توصیف نمود.

بافت و ساختمان لایه‌های نیمرخ خاک

خاک‌های سبک بافت در مقایسه با خاک‌های سنگین بافت از تراوش‌پذیری بیش‌تری برخوردار می‌باشند. از نقطه نظر ساختمان به‌عنوان نمونه انواع "ستونی" در مقایسه با انواع "متراکم (فشرده)" دارای نفوذپذیری بیش‌تری می‌باشند.

1- Puddling

عمق سطح ایستابی

هر چه عمق سطح ایستابی نسبت به سطح خاک (زمین) نزدیک‌تر باشد، میزان نفوذ عمقی کمتر خواهد بود.

نفوذپذیری خاک

در خاک‌های با نفوذپذیری زیاد میزان تراوشات عمقی در زراعت برنج به‌طور نسبی بیش‌تر خواهد بود.

عمق استقرار لایه غیرقابل نفوذ

کم‌عمق بودن لایه غیرقابل نفوذ نسبت به سطح زمین موجد نفوذپذیری کمتری است.

تذکر: اقدام به زراعت برنج دراستمرار امر آب‌شوئی نمک‌های محلول (پس از آب‌شوئی مقدماتی) به عنوان یک نبات پیشاهنگ[1] اصلاح خاک‌های شور و سدیمی نه‌تنها از نظر اقتصادی (بهره‌برداری موثرتر از آب موردنیاز استمرار امر آبشوئی و تولید محصول طی اجرای برنامه اصلاح خاک و زمین) هم‌چنین از نظر فنی (در مقایسه با کاربرد مقادیر قابل‌توجهی آب آبشوئی به تنهائی) به‌لحاظ داشتن مزیت‌های زیر:

الف–دارا بودن مقاومت متوسط گیاه (برنج) نسبت به شوری خاک (۱۰–۶ دسی‌زیمنس‌بر-متر)

ب– تسهیل در امر ایجاد خاک‌دانه در اثر رشد مکانیکی ریشه گیاه

پ– حصول ترقیق (نسبی) در آب‌های زیرزمینی نامناسب و

ت–افزایش فشار گاز دی‌اکسیدکربن (CO_2) در اثر فعالیت ریشه گیاه و در نتیجه کاهش میزان واکنش (pH) خاک‌ها که منجر به حلالیت بیش‌تر کربنات کلسیم ($CaCO_3$) خاک گردیده و با تأمین یون کلسیم (Ca^{2+}) در محلول خاک از گرایش به "سدیمی شدن خاک‌ها" تا حدودی ممانعت به‌عمل می‌آورد، قابل توجه است.

1- Pioneer Crop

۳-۸- نتیجه گیری

توصیه می‌گردد درخصوص کنترل شوری در زمین‌های شالی‌زاری، ابتدا به برنامه‌های مدیریت آبیاری ارائه شده در مراجع معتبر از جمله نشریه فنی شماره ۳۳، سازمان خواربار و کشاورزی جهانی (۱۹۷۹) عطف توجه نموده و سپس نسبت به محاسبه یا برآورد آب مصرفی و مورد نیاز زراعت برنج در منطقه مورد عمل اقدام و متعاقب آن نسبت به برآورد نیاز آبشوئی (LR) تا میزان عملکرد مورد نظر (حدود ۹۰ درصد) اهتمام نموده و مقایسه‌ای بین آن و تراوشات عمقی زمین‌های شالی‌زار (پس از عملیات گلخرابی) به‌انجام رسیده و بر مبنای نتایج حاصله همانند آن‌چه درخصوص زمین‌های تحت آبیاری اعمال می‌گردد، اقدامات مدیریتی لازمه صورت پذیرد.

- بعضی منابع برای مطالعه بیشتر

۱- پذیرا، ابراهیم و محمد حسن مسیح آبادی ۱۳۸۶: ویژگی‌های خاک‌های شالیزار و تولید محصول برنج، مجله علمی- پژوهشی، واحد علوم و تحقیقات- تهران، ویژه‌نامه شماره (۲) سال سیزدهم.

۲- مبانی و ضوابط طراحی، تجهیز و نوسازی اراضی شالیزاری، جلد سوم زهکشی، نشریه شماره ۳-۴۷۱، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور، معاونت نظارت راهبردی، دفتر نظام فنی اجرایی، و وزارت جهاد کشاورزی، مؤسسه پژوهش‌های برنامه‌ریزی و اقتصادی کشاورزی ۱۳۸۷.

۳- مجموعه مقالات پنجمین کارگاه فنی زهکشی و محیط زیست، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، نشریه شماره ۱۳۰، آبان ماه ۱۳۸۷- تهران.

۴- نور محمدی، قربان، سیادت، عطاالله و علی کاشانی ۱۳۸۵: زراعت، چاپ پنجم، انتشارات دانشگاه شهید چمران- اهواز.

5- Powell,J. 2004: Dryland Salinity,On-Farm Decisions and Catchment Outflowes.A Guide for leading producers and advissors,Land and Water Australia,Canberrra.Act.

6- Rice Doctor @ 2003: International Rice Research Institute (IRRI).

7- Salt- affected Soils and Their Management. 1988: FAO Soils Bulletin. No. 39, FAO, Rome

8- The Impact of Salt Water on Agricultural Land. 2005: UN.FAO Field Guide.

9- Yield Response to Water.1979: Irrigation and Drainage Paper. No. 33, FAO, Rome.

فصل چهارم: مبانی نظری و عملی شوری‌زدائی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک‌ها

۴-۱- مقدمه

تجربیات موجود نشان می‌دهد که در بیشتر شرایط آبشویی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک‌ها عمل ساده "جایگزینی آب حاصل از نفوذ عمقی با عصاره اشباع محلول خاک" نمی‌باشد. بلکه مربوط به فرایند دو پدیده توأمان پخشیدگی یا حرکت گرمایشی[۱] و انتشار یا پراکندگی[۲] نمک‌های محلول در نیمرخ خاک می‌باشد که دراصطلاح به فرایند جایگزینی اختلاط‌پذیر[۳] موسوم می‌باشد. در نتیجه این فرایند آبی که به‌طور عمقی در خاک نفوذ می‌کند با رطوبت موجود در نیمرخ خاک اختلاط می‌یابد و سپس با ادامه نفوذ، نمک‌های محلول را نیز به اعماق خاک منتقل می‌کند. هر چه عمق آب مورد نیاز برای آبشویی کامل نمک‌های کمتر باشد، بازده آبشویی بیش‌تر خواهد بود. بازده آب‌شویی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک تابع عواملی از جمله: میزان رطوبت خاک، مقدار آب آب-شویی، اندازه و آرایش خلل و فرج خاک، روش آبشویی و سرانجام پراکنش عمودی و تراکم نمک‌ها در نیمرخ خاک می‌باشد.

در خاک‌های شورو سدیمی، سدیمی به‌طورمعمول فرایند تبادل یونی[۴] در اثنای آبشویی نمک-ها به وقوع می‌پیوندد که طی آن تعادل موجود بین یون‌های جذب شده در سطح ذرات خاک و یون‌های موجود در محلول خاک ناپایدار گردیده و در نتیجه آن تبادل یونی به انجام می‌رسد. فرایند اصلاح خاک‌های سدیمی، مستلزم جایگزین شدن یون‌های کلسیم و یا منیزیم با یون-های سدیم جذب‌سطحی شـــده بر سطح ذرات رس است. لازمـه جایگزینی کلسیم

۱- پخشیدگی یا حرکت گرمایشی (Diffusion) ، این حرکت مرتبط با جابه‌جایی غیر منظم ذرات منفردی است که اندازه آن‌ها برابر با اندازه ملکول می‌باشد. این حرکت در اثر انرژی حرارتی ملکول‌ها در محلول خاک به انجام می‌رسد.

۲- انتشار یا پراکندگی(Dispersion)، نتیجه نقل و انتقال یون‌ها به‌وسیله حرکت آب یا سیال می‌باشد، این عامل در محلول خاک به عنوان جریان گرانرو و یا جریان توده‌ای نیز نامیده می‌شود.

۳- جایگزینی اختلاط پذیر (Miscible Displacement)، فرآیندی است که هرگاه سیالی با سیال دیگر اختلاط یافته و جایگزین آن گردد به وقوع می‌پیوندد.

4- Ionic Exchange

(Ca^{2+})و یا منیزیم (Mg^{2+})با ســدیم تبادلی ($Ex.Na^{+}$) آن است که مقادیر متناسبی یون کلسیم و یا منیزیم در محلول خاک موجود باشد به این ترتیب اصلی‌ترین نقش آبشویی و اصلاح اراضی در خاک‌های شور و سدیمی، خارج کردن یون سدیم جایگزین شده (که به شکل نمک‌هایی با حلالیت زیاد در محلول خاک باقی می‌ماند)، خواهد بود. بعضی پژوهشگران فرضیات ساده شده‌ای را برای دست‌یابی به رابطه آبشویی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک‌ها اعمال و فرایند آبشویی (شوری‌زدائی) نمک‌ها از نیمرخ خاک‌ها را به‌شرح زیر ارائه نمودند.

$$D_S.\theta_V.dC_{sw} = (C_{iw} - dD_{iw}) - (C_{dw}.dD_{dw}) \qquad (۱-۴)$$

که در آن :

D_S ، ضخامت لایه خاک،

dC_{sw}، تغییرات میزان نمک‌ها در آب خاک در ارتباط با تغییرات در عمق آب زهکشی (میزان) در عمق معینی از خاک (dD_{dw})،

θ_V، میزان رطوبت حجمی خاک،

C_{iw} و C_{dw}، به ترتیب غلظت نمک‌های محلول در آب آبیاری و آب زهکشی (زه‌آب) و

D_{dw}، میزان آب نفوذ یافته (تراوشات عمقی) می‌باشد.

با توجه به رابطه کلی بیان شده فرضیات به کار رفته و ضروری به شرح زیر بوده است.

۱- وقوع زهآب (حالت زهکشی) و یا آبشویی نمک‌ها از ضخامت مشخصی در نیمرخ خاک در میزان رطوبت اندکی بیشتر از حد ظرفیت زراعی[1] اتفاق می‌افتد.

۲- این شرایط برقرار باشد :

$$Cdw = f \,.\, Csw \quad , f \leq ۱$$

که در آن :

f، ضریب بازده یا راندمان آبشویی[2] نامیده می‌شود.

غلظت نمک‌ها در آب زه‌کشی از عمق معینی در خاک، برابر و یا کمتر از متوسط غلظت نمک‌های آب خاک قبل از آبشویی می‌باشد.

1- Field Capacity (FC)

2-Leaching Efficiency Coefficient (f)

۳- عمق آب زهکشی (تراوشات عمقی) متناسب با عمق آب کاربردی (آبشویی) است به‌طوری که می‌توان رابطه زیر را ارائه نمود.

$$D_{dw} = \frac{D_{iw}}{K} \rightarrow dD_{iw} = K.dD_{dw}$$

که در آن:

K، ثابت تناسب می‌باشد.

با جایگزینی رابطه‌های ارائه شده در بندهای دوم و سوم در رابطه (۴-۱) نتیجه زیر حاصل می‌شود.

$$D_s.\theta_v.dC_{sw} = (K.C_{iw}.dD_{dw}) - (dD_{dw}.f.C_{sw}) \qquad (۴-۲)$$

که آن را به صورت زیر نیز می‌توان نوشت :

$$D_s.\theta_v.dC_{sw} = d.D_{dw}(K.C_{iw} - f.C_{sw}) \qquad (۴-۳)$$

و یا

$$\frac{dD_{dw}}{D_s} = \frac{\theta_v.dC_{sw}}{(K.C_{iw} - f.C_{sw})} = \frac{\theta_v}{f}\left[\frac{dC_{sw}}{\frac{K.C_{iw}}{f} - C_{sw}}\right] \qquad (۴-۴)$$

با انتگرال‌گیری از رابطه (۴-۴) بین حدود $D_{dw} = ۰$ و $C_{sw} = C_{swo}$ نتیجه زیر حاصل می‌شود.

$$\frac{۱}{D_s}\int_{D=۰}^{D=D} dD_{dw} = \frac{\theta_v}{f}\int_{C_{swo}}^{C_{sw}} \frac{dC_{sw}}{C_{sw} - \frac{K.C_{iw}}{f}} \qquad (۴-۵)$$

و یا

$$\frac{D_{dw}}{D_s} = \frac{\theta_v}{f}\ln\frac{C_{swo} - \frac{KC_{iw}}{f}}{C_{sw} - \frac{KC_{iw}}{f}} \qquad (۴-۶)$$

با جایگزینی: C= EC و تساوی قراردادن $EC_{eq} = \frac{KC_{iw}}{f}$ رابطه بالا به شکل ساده زیر در می‌آید.

$$\frac{D_{dw}}{D_S} = \frac{\theta_v}{f} \ln \frac{EC_o - EC_{eq}}{EC - EC_{eq}} \qquad (۷-۴)$$

در رابطه (۴-۶) مقادیر غلظت نمک‌های محلول (C) بر حسب میلی‌اکی‌والنت‌درلیتر و یا میلیگرم در لیتر بوده است که این مقادیر در رابطه (۴-۷) به‌صورت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (EC) بر حسب دسی‌زیمنس‌برمتر (dS/m) تغییر یافته‌اند.

در شرایطی که در رابطه اخیر، $D_{lw} = D_{dw}$ (عمق خالص آبشویی) و $EC_i = EC_0$ (هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک قبل از عملیات آبشویی) و $EC_f = EC$ (هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک پس از عملیات آبشویی) منظور گردند رابطه کلی زیر حاصل می‌شود.

$$\frac{D_{lw}}{D_S} = \frac{\theta_v}{f} \ln\left(\frac{EC_i - EC_{eq}}{EC_f - EC_{eq}}\right) \qquad (۸-۴)$$

و یا

$$\left(\frac{EC_f - EC_{eq}}{EC_i - EC_{eq}}\right) = \exp\left[-(f.D_{lw})/(\theta_v.D_S)\right] \qquad (۹-۴)$$

در رابطه های (۴-۸) و (۴-۹) علائم به کار رفته دارای ابعاد و معانی زیر است.

EC_i و EC_f، به‌ترتیب هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک، قبل و پس از عملیات آبشویی (کاربرد و نفوذ عمق مشخصی آب آبشویی یا D_{lw}) بر حسب دسی‌زیمنس‌برمتر (dS/m) و

EC_{eq}، هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک که به حال تعادل شیمیائی با آب آبیاری (آبشویی) در می‌آید، برحسب دسی‌زیمنس‌برمتر (dS/m) و آن در واقع کم‌ترین میزان شوری (هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک) می‌باشد که در لایه سطحی (۵-۰ سانتی‌متری) نیمرخ خاک با استفاده از آب آبیاری یا آبشویی با کیفیت مشخص و موجود حاصل می‌گردد.

f، ضریب بازده یا راندمان آبشویی، بدون بعد،

D_{lw}، عمق خالص آب آبشویی و آن مقدار آبی است که پس از تأمین کسر رطوبت خاک لایه مربوطه به طریق ثقلی و به‌صورت تراوشات عمقی از ستون خاک لایه مربوطه خارج می‌گردد برحسب متر یا سانتی‌متر،

D_s، عمق یا ضخامت لایه خاک (نسبت به سطح زمین) بر حسب متر یا سانتی‌متر،

θ_v، رطوبت حجمی خاک، سانتی‌مترمکعب بر سانتی‌مترمکعب یا مترمکعب بر مترمکعب و D_{lw}/D_s، نسبت عمق آب آبشویی به واحد عمق خاک، بدون بُعد.

با کاربرد روابط بیان شده می‌توان عمق خالص آب آبشویی (D_{lw})، ضریب راندمان یا بازده آبشویی (f) و میزان شوری نهایی (EC_f) را به ازاء کاربرد مقدار معینی آب آب‌شویی (D_{lw})برای لایه مشخصی از نیمرخ خاک D_s را به شرح زیر محاسبه نمود.

$$D_{lw} = D_s\left[\frac{\theta_v}{f}\ln\frac{ECi - EC_{eq}}{EC_f - EC_{eq}}\right] \qquad (۱۰-۴)$$

$$f = \frac{Ds}{D_{lw}}.\theta_v\left[\ln\frac{EC_i - ECeq}{EC_f - ECeq}\right] \qquad (۱۱-۴)$$

$$EC_f = (EC_i - EC_{eq})(\exp-[(f.D_{lw})/(\theta_v.D_s)] + EC_{eq} \qquad (۱۲-۴)$$

کاستن مقدار EC_{eq} (شوری یا هدایت الکتریکی تعادلی عصاره اشباع خاک) از صورت و مخرج کسر رابطه‌های مربوطه موجب می‌گردد تا نتایج حاصل مستقل از عوامل خارجی مؤثر (از جمله میزان تبخیر، شرایط زهکشی داخلی خاک‌ها، کیفیت آب آبیاری مورد مصرف در امر آبشویی و سایر شرایطی که می‌تواند بر روی نتایج اثرگذار باشند) گردند.

با توجه به موارد بیان شده ملاحظه می‌گردد، با وجودی که در اشتقاق رابطه آبشویی نمک‌ها از نیمرخ خاک‌ها فرضیات ساده شده‌ای اعمال گردید لیکن در مقایسه با بعضی مدل‌های تجربی و عددی، رابطه‌های بیان شده از منطق فیزیکی و ریاضی مناسبی برخوردار می‌باشند. به طوری که با کاربرد این روابط می‌توان مورد آبشویی (تخلیه و دفع) منطقی نمک‌های به طور کامل محلول را در نیمرخ خاک طی فرایند آبشویی با تقریب مناسبی برآورد نمود. زیرا در شرایط عادی حدود ۸۰–۹۰ درصد نمک‌های موجود در نیمرخ خاک‌های مذکور را نمک‌های معدنی با درجه حلالیت زیاد تشکیل می‌دهند و فقط حدود ۱۰–۲۰ درصد باقیمانده را ترکیبات معدنی کم محلول شامل می‌گردند. که در نتیجه هوادیدگی مواد مادری تشکیل دهنده خاک‌ها می‌باشند و در حقیقت در اکثر شرایط آبشویی "نمک‌های محلول" از نیمرخ خاک‌ها مورد نظر است که مبانی بیان شده طی روابط بالا در خصوص آن‌ها کاربرد دارد.

هر چند قضاوت در مورد ضریب بازده یا راندمان آبشویی (f) که باید از طریق انطباق منحنی‌های آبشویی یا شوری‌زدائی حاصل از آزمون‌های مزرعه‌ای (مشاهده‌ای) و برآورد شده به‌وسیله یک رابطه مناسب به‌انجام رسد لیکن نتایج بعضی بررسی‌های مربوطه نشان می‌دهد که مقدار این ضریب یا فاکتور برای خاک‌های شنی در شرایط آبشویی به روش غرقاب دایم برابر با ۰/۶— ۰/۷ و مقدار آن ممکن است برای خاک‌های رسی تا حد ۰/۳ نیز تنزل یابد. به عنوان یک رهنمود تجربی مقدار راندمان آبشویی (f) مرتبط با بافت خاک را به طور تقریبی به صورت زیر می‌توان ارائه داد.

- برای خاک‌های سیلت لوم تا لومی شنی $f = ۰/۷- ۰/۶$
- برای خاک‌های رسی سیلتی، شنی لومی و لوم $f = ۰/۵-۰/۴$
- برای خاک‌های سنگین بافت و رسی $f = ۰/۳-۰/۲$

مقدار عددی این ضریب منعکس‌کننده راندمان کاربرد آب آبشویی نمک‌های محلول خاک است، که طی فرایند آبشویی می‌تواند جایگزین آب خاک گردد.

۴-۲- تعیین آب مورد نیاز آبشویی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک‌ها

عملیات اصلاحی خاک‌ها مشتمل بر آبشویی نمک‌های محلول و سدیم تبادلی از محدوده توسعه ریشه گیاه (هان) می‌باشد. اگر چه در عمل جهت حصول این نتیجه در اکثر مواقع مقادیر قابل ملاحظه‌ای آب به طور نسبی بدین منظور و به‌عنوان آب آبشویی به‌کار می‌رود و یا ممکن است در عمل موردنیاز باشد لیکن در شرایطی که وضعیت زهکشی طبیعی (داخلی) خاک نامناسب باشد، کاربرد این میزان آب شرایط را نامطلوب‌تر می‌کند.

اصلاح خاک‌های متاثر از موارد شوری و سدیمی بودن حتی تا زمان حاضر هنوز موارد بررسی‌های مزرعه‌ای را ضروری می‌نماید. هر چند به‌طور غیردقیق و تقریبی بیان می‌شود که برای آبشویی نمک‌های محلول لایه خاکی به ضخامت (D_s) همان عمق یا ارتفاع معادل آب آبشویی برای نیاز اصلاحی خاک‌های بسیار شور مورد نیاز است[۱].

۱- حجم منفذی (Pore Volume) برابر با نسبت عمق آب کاربردی (Dw) تقسیم بر حاصل‌ضرب ضخامت لایه خاک (Ds) در مقدار تخلخل کل خاک (n) می‌باشد $[P.V= Dw \div (n.Ds)]$ ، بنابراین با فرض اینکه خاک‌های رسی دارای ۵۰٪ تخلخل کل می‌باشند، دو واحد حجم آب منفذی (P.V=2) مساوی با عمق یا ضخامت خاک لایه مربوطه می‌باشد یعنی : Dw=Ds .

در این زیر بخش اهتمام به‌عمل آمده تا به‌منظور احتراز از پیچیدگی مطلب، تفاوت بین کنترل شوری نمک‌ها در نیمرخ خاک از طریق بیلان نمک‌ها یا نیاز آبشویی[1] و تخلیه و دفع نمک‌های متراکم در خاک‌های شور و سدیمی که به نیاز اصلاحی[2] معروف است مطالبی بیان گردد بدین ترتیب که نیاز اصلاحی اراضی، عبارت از مقدار (میزان) آبی است که می‌باید از نیمرخ خاک (محدوده توسعه رشد گیاه) عبور نموده و نمک‌های محلول را در نیمرخ خاک به میزان و غلظت ویژه‌ای برساند که برای کشت و کار گیاهان مورد نظر قابل تحمل باشد بنابراین نیاز اصلاحی به طور معمول و مرسوم مرتبط با خاک‌های بدون پوشش زارعی می‌باشد که در نظر است این قبیل اراضی برای اهداف بهره‌برداری‌های کشاورزی آماده نمود.

۴-۲-۱- نیاز آبشویی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک‌ها

پژوهشگران زیادی سعی در ارائه رابطه‌ای کمی برای بیان میزان آب لازم برای آبشویی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک‌ها (نیاز آبشویی) نموده‌اند. کارشناسان آزمایشگاه شوری کشور ایالات متحده (USSL) در سال (۱۹۵۴) رابطه زیر را ارائه دادند.

$$LR = \frac{D_{dw}}{D_{iw}} = \frac{EC_{iw}}{EC_{dw}} \qquad (۱۳-۴)$$

که در آن:

D_{dw}، عمق آب زهکشی،

D_{iw}، عمق معادل آب آبیاری و

EC_{iw} و EC_{dw}، به ترتیب نمایانگر هدایت الکتریکی آب آبیاری و آب‌زهکشی (زه‌آب) می‌باشند.

به‌دلیل مشکل بودن برآورد مقدار هدایت الکتریکی آب زهکشی (EC_{dw}) و برای اعمال این فرض که حداکثر غلظت محلول خاک در منطقه زیر محدوده توسعه ریشه گیاه اتفاق می‌افتد، پیشنهاد گردید که مقادیر شوری عصاره اشباع خاک به‌عنوان برآوردی از میزان هدایت الکتریکی آب زهکشی (EC_{dw}) منظور گردد. چنانچه از رواناب سطحی، صرف‌نظر

1- Leaching Requirement (LR)
2-Reclamation Requirement (RR)

شود، عمق آب آبیاری (D_{iw}) برابر مجموع عمق آب مصرفی گیاه (D_{cw}) و آب زهکشی (D_{dw}) می‌باشد بنابراین :

$$D_{iw} = D_{cw} + D_{dw} \qquad (۱۴-۴)$$

$$D_{iw} = \frac{D_{cw}}{(۱ - LR)} = (\frac{EC_{dw}}{EC_{dw} - EC_{iw}}).D_{cw} \qquad (۱۵-۴)$$

روابط فوق مقدار آب مورد نیاز آبشویی (LR) را بسیار محتاطانه و حتی بیش از مقدار لازم برآورد می‌نمایند و به همین لحاظ بعدها روابط دیگری برای نیاز آبشویی ارائه شده است. برای برآورد دقیق‌تری از نیاز آبشویی (LR) لازم و برای گیاه بخصوص رابطه زیر ارائه شده است.

$$LR = \frac{EC_{iw}}{۵(EC_e) - EC_{iw}} \qquad (۱۶-۴)$$

که در آن:

LR، حداقل نیاز آبشویی لازم برای تنظیم نمک‌ها در محدوده شوری (ECe) قابل تحمل گیاه در روش‌های مرسوم آبیاری ثقلی یا سطحی،

EC_{iw}، شوری آب آبیاری برحسب دسی‌زیمنس‌برمتر (dS /m) و

ECe ، میزان متوسط حد تحمل گیاه به شوری بر مبنای اندازه‌گیری عصاره اشباع خاک بر حسب دسی‌زیمنس‌برمتر (dS/m) می‌باشد که مقادیر آن برای عملکردهای متفاوت محصولات زراعی و باغی در جداول منابع مرجع ارائه شده است. توصیه گردیده که در این مورد مقدار (ECe) که موجب عملکرد ۹۰ درصد میزان عملکرد محصولات است، در ابتدا به کار گرفته شود.

بدین‌ترتیب کل عمق آب سالیانه موردنیاز که باید نیاز آبی و نیاز آبشویی را جبران نماید از رابطه زیر قابل محاسبه است.

$$AW = \frac{ET}{۱ - LR} \qquad (۱۷-۴)$$

که در آن:

AW، عمق آب مورد نیاز یا کاربردی بر حسب میلی‌متر در سال،

ET، کل میزان آب سالیانه موردنیاز یا تقاضای گیاه، بر حسب میلی‌متر در سال و

LR، نیاز آبشویی که به صورت کسری (اعشاری) بیان می‌گردد.
دوباره یادآوری می‌گردد که نیاز آبشویی (LR) به صورت کسری و افزون بر نیاز آبی گیاه تعریف شده است که ضرورت دارد این میزان آب از محدوده توسعه ریشه گیاهان عبور نموده نمک‌های محلول را آبشویی و در حد موردنظر تنظیم نماید.

۴-۲-۲- نیاز اصلاحی اراضی شور، شور و سدیمی

همان‌طوری‌که پیش‌تر بیان شد، به‌طورکلی خارج نمودن نمک‌های محلول و تراکم یافته در نیمرخ خاک‌های بسیار شور و یا شور و سدیمی به‌عنوان عملیات "اصلاح اراضی" تعریف گردیده است. بنابراین نیاز اصلاحی (RR) با عبارت نیاز آبشویی (LR) که شرح آن در مبحث قبل بیان گردید تفاوت معنی‌داری را داراست.
اولین رابطه کمی و تجربی برای بیان نیاز اصلاحی اراضی، بر مبنای آزمایش‌های مزرعه‌ای (میدانی) اصلاح خاک و اراضی به‌وسیله ریو[1] در سال (۱۹۵۷) به شرح زیر ارائه گردید.

$$\frac{D_W}{D_S} = \frac{۱}{۵ \times \left(\frac{EC_f}{EC_i}\right)} + ۰/۱۵ \qquad (۱۸-۴)$$

که در آن:
D_W، عمق آب نفوذ یافته (آبشویی) برای لایه خاکی به ضخامت (D_S)،
EC_i و EC_f، به ترتیب غلظت (یا هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک بر حسب دسی-زیمنس‌برمتر) متوسط شوری در کل نیمرخ خاک قبل و پس از آبشویی نمک‌های محلول،
D_S، ضخامت افق یا لایه موردنظر برای عملیات اصلاحی است.
رابطه بالا را به صورت زیر نیز می‌توان ارائه داد.

$$\frac{D_W}{D_S} = \frac{EC_i}{۵(EC_f)} + ۰/۱۵ = \frac{۱}{۵}\left(\frac{EC_i}{EC_f}\right) + ۰/۱۵ \qquad (۱۹-۴)$$

در این رابطه:

1 - Reeve

(EC_i/EC_f)، نسبت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک قبل از آبشویی به هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک پس از آبشویی بدون بعد و
(Dw/Ds)، نسبت عمق آب کاربردی (آبشویی) به واحد عمق خاک، بدون بُعد می‌باشد.
با استفاده از هر کدام از روابط (۴-۱۸) و (۴-۱۹) می‌توان عمق آب مورد نیاز برای آبشویی (D_W) را به شرح زیر برآورد یا محاسبه نمود.

$$D_W = D_S.\left[\frac{۱}{۵}(\frac{EC_i}{EC_f}) + ۰/۱۵\right] \qquad (۲۰-۴)$$

در شرایطی که اطلاعات لازم در دسترس باشد می‌توان به جای D_W (عمق ناخالص آب آبشویی)، D_{lw} (عمق خالص آب آبشویی) را بدون آن‌که در روابط بیان شده، تغییری ایجاد نماید به کار برد. زیرا D_{lw} از طریق کسر میزان کمبود رطوبت خاک لایه مورد نظر Ds (تا حد ظرفیت مزرعه) از عمق آب کاربردی D_W به دست خواهد آمد.
به‌طوری که در مباحث قبل بیان گردید، میزان شوری تعادلی (EC_{eq}) مربوط به فرایندهای تبخیر، شرایط زهکشی داخلی خاک‌های مورد آزمون و شوری آب آبشویی (EC_{iw}) می‌باشد و هرگاه مقدار آن از مقادیر شوری اولیه (EC_i) و نهائی (EC_f) کسر گردد روابط حاصله یعنی : $\left[D_W/D_S\right]$ و $\left[(EC_f - EC_{eq})/(EC_i - EC_{eq})\right]$
به‌طور نظری از کیفیت آب آبشویی، وضعیت زهکشی داخلی خاک و میزان تبخیر مستقل می‌گردند و بدین‌ترتیب روابط و منحنی‌های حاصله تنها به ویژگی‌های خاک مورد آزمایش بستگی خواهد داشت. با اعمال این شرایط و جایگزینی Dw= Dlw در رابطه (۴-۱۹) شکل نهائی رابطه به صورت زیر قابل ارائه خواهد بود.

$$\left[(EC_f - EC_{eq})/(EC_i - EC_{eq})\right] = \frac{۱}{۵}\left[(D_{lw}/D_S) - ۰/۱۵\right] \qquad (۲۱-۴)$$

استفاده از رابطه یا مدل تجربی ریو (۱۹۵۷) برای سالیان متمادی در اکثر نقاط جهان و کشور عمومیت کاربرد داشته است.
رابطه تجربی دیگری به وسیله کودا[1] دانشمند روسی در سال (۱۹۶۱) برای بیان نیاز اصلاحی اراضی، به شرح زیر ارائه شده است.

$$Y = n_۱.n_۲.n_۳X(۴۰۰) \pm ۱۰۰ \qquad (۲۲-۴)$$

1- Kovda

که در آن:

Y، عمق آب موردنیاز آبشویی بر حسب میلی‌متر،

X، میزان متوسط شوری عمق ۲/۰ متری نیمرخ خاک بر حسب درصد،

n_1، ضریب مرتبط با بافت خاک (برای خاک‌های شنی، لومی و رسی به ترتیب برابر با ۰/۵، ۱/۰ و ۲/۰)،

n_2، ضریب عمق سطح ایستابی آب زیرزمینی (برای اعماق کمتر از ۲، ۵-۲ و ۷-۵ متری به ترتیب مقدار آن برابر با ۳/۰، ۱/۵ و ۱) و

n_3، ضریب مرتبط با شوری آب زیرزمینی (برای شوری‌هایی کم، زیاد و بسیار زیاد به ترتیب ۱، ۲ و ۳) می‌باشد.

متذکر می‌گردد که برای تبدیل هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک و بر حسب دسی-زیمنس‌بر متر به درصد نمک باید آن را ابتدا در درصد اشباع بر حسب اعشاری (SP/۱۰۰) ضرب نموده و حاصل را نیز در عدد ۰/۰۶۴ ضرب نمود.

در خصوص کاربرد رابطه (۴-۲۲) و نتایج حاصل از آن موارد مکتوب و مدونی در کشور گزارش نشده است.

به طوری که پیش‌تر بیان گردید و توجه مجدد بر آنچه در خصوص اشتقاق رابطه‌های (۴-۸) و (۴-۹) منظور شده است، شکل کلی و کامل شده مدل یا رابطه تجربی- نظری دیلمان[1] به شرح زیر می‌باشد.

$$[(EC_f - EC_{eq})/(EC_i - EC_{eq})] = \exp[-(f.D_{lw})/(\theta_v.D_s)]$$

که کلیه علایم به کار رفته در آن پیش‌تر تعریف شده‌اند.

به‌دلیل آن‌که ضریب راندمان آبشویی (f) قبل از اقدام به امر آبشویی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک‌ها به‌طوردقیق مشخص نمی‌باشد و میزان تقریبی آن به شدت وابسته به ویژگی‌های فیزیکی خاک و روش اجرای عملیات آبشویی دارد که می‌توان آن را از منابع منتشرشده برداشت نمود، بدین‌دلیل عده‌ای از پژوهشگران در مورد ساده‌سازی این مدل (رابطه) دو روش زیر را در شرایطی اعمال می‌نمایند.

- مقدار ضریب (f) را معادل واحد فرض می‌نمایند.

1- Dieleman(1963)

- مقدار آن را که رقمی اعشاری است معادل مقدار عددی (θ_v) که آن هم رقمی اعشاری است منظور می‌دارند.

بدین‌ترتیب با اعمال حالت ساده‌سازی مورد دوم، رابطه یا مدل تجربی- نظری دیلمان به شرح زیر ساده و قابل ارائه است.

$$[(EC_f - EC_{eq})/(EC_i - EC_{eq})] = \exp-(D_{lw}/D_s)] \qquad (۲۳-۴)$$

به‌دلیل آن‌که توان (exp) منفی است اعمال فرضیات ساده گفته شده، اشتباه فاحشی را موجب نمی‌شود و با استفاده از رابطه (۴-۲۳) می‌توان میزان آب لازم برای آبشویی نمک-های محلول از نیمرخ خاک‌ها را به شرح زیر ارائه نمود:

$$D_{lw} = D_S\left[\ln\frac{EC_i - EC_{eq}}{EC_f - EC_{eq}}\right] \qquad (۲۴-۴)$$

در رابطه بالا کلیه علائم معانی قبلی را دارا می‌باشند.

مؤسسه تحقیقات خاک و آب در سال (۱۳۷۶) بر پایه آزمایش‌های مزرعه‌ای آبشویی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک‌ها و تهیه منحنی‌های شوری‌زدائی که طی سال‌های ۱۳۷۵- ۱۳۵۷(و به‌طورعمده در سال‌های ۱۳۷۵- ۱۳۶۵) در مناطق مختلف کشور به مرحله اجرا در آمده بود، ضمن گردآوری، تجزیه و تحلیل ارقام و اطلاعات موجود نتایج حاصله را به‌صورت یک نشریه فنی منتشر نمود و برای کل سطح کشور در شرایط متفاوت بافت خاک، مقادیر شوری اولیه ۴/۰-۱۹۸/۰ دسی‌زیمنس‌برمتر (dS/m)، عمق آب آبشویی ۱۰۰-۲۱۰ سانتی

متر و روش آبشویی غرقاب متناوب رابطه تجربی زیر را ارائه نموده است*.

$$\left[\frac{EC_i - EC_{eq}}{EC_f - EC_{eq}}\right] = ۰/۴۶۰ - ۰/۱۵\ln\frac{D_W}{D_S} \qquad (۲۵-۴)$$

که در رابطه بالا علائم و ابعاد به‌کار رفته پیش‌تر تعریف شده است.

روابط مشابهی (از نظر ریاضی) و به تفکیک برای ۱۴ استان مختلف کشور نیز به‌وسیله موسسه مذکور ارائه شده است. متذکر می‌گردد که به دلیل متفاوت بودن منابع آب

---

* آب موردنیاز شستشوی خاک‌های شور در ایران (۱۳۷۷)، نشر آموزش کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی- وزارت کشاورزی.

کاربردی در امر آبشویی (که مقادیر هدایت الکتریکی آن‌ها ۰/۵–۱۱/۰ دسی‌زیمنس‌برمتر متفاوت بوده) به‌منظور بیان و یا لحاظ داشتن میزان شوری تعادلی (EC_{eq}) از رابطه قرارداری زیر استفاده به عمل آمده است :

$$EC_{eq} = \frac{FC}{SP}.EC_{iw} \qquad (۲۶–۴)$$

در این رابطه:

EC_{eq} وEC_{iw}، به ترتیب میزان شوری (هدایت الکتریکی عصاره اشباع) خاک و آب کاربردی، دسی‌زیمنس‌برمتر (dS/m) و

FC وSP نیز به ترتیب مقادیر رطوبت وزنی خاک در حدود ظرفیت زراعی (مزرعه) و اشباع بر حسب درصد بوده است.

برای محاسبه و یا برآورد میزان آب آبشویی لازم (D_W) با استفاده از رابطه (۴–۲۵) می‌توان رابطه زیر را ارائه نمود.

$$D_W = D_S.\exp\left[\frac{۰/۴۶ - \left(\frac{EC_f - EC_{eq}}{EC_i - EC_{eq}}\right)^{۰/۵}}{۰/۱۵}\right] \qquad (۲۷–۴)$$

متذکر می‌گردد که در مورد آن قبیل رابطه‌هائی که از طریق کاربرد آن میزان D_{lw} (عمق خالص آب آبشویی) برآورد و یا تخمین زده می‌شود، به‌منظور برآورد کل میزان آب کاربردی لازم برای اجرای عملیات آبشویی نمک‌های خاک ضروری است که به مقادیر تبخیر (از سطح آب و خاک) و میزان بارندگی (طی دوره آبشویی) نیز توجه نموده و این عوامل فراگیر را در محاسبات برنامه‌ریزی آبشویی و اصلاح اراضی لحاظ داشت.

در نشریه شماره ۲۰۵ مؤسسه تحقیقات خاک و آب، با عنوان "راهنمای طبقه‌بندی اراضی برای آبیاری (سطحی یا ثقلی) در ایران" در خصوص نیاز اصلاحی اراضی شور، شور و سدیمی موارد شستشوی نمک‌ها[1] محلول از نیمرخ خاک‌های مبتلا به با تاکید براین‌که ارقام و علائم ارائه شده، در رابطه با خارج نمودن نمک‌های محلول و موجود در نیمرخ خاک و مقدار نمک-

1- Salt Leaching

هایی که احتمال دارد از طریق کاربرد آب آبشویی کاربردی به خاک افزوده گردد و با عنایت براین‌که کیفیت آب‌های مورد مصرف در امر آبشویی نمک‌های محلول خاک، میزان شوری (هدایت الکتریکی) در حدود ۲/۵ – ۴/۰ دسی‌زیمنس‌برمتر (dS/m) را داشته و میزان رطوبت خاک در زمان آبشویی در حد ظرفیت زراعی (FC) باشد، موارد زیر را به‌عنوان رهنمودهای کلی و کاربردی ارائه نموده است.

(l) - معرف نیاز اراضی به آبشویی کم است که در این سطح از آبشویی نمک‌ها، میزان آب مورد نیاز برای یک هکتار زمین حدود ۲–۳ هزار متر مکعب برآورد می‌شود.

l - بیانگر نیاز اراضی به آبشویی متوسط می‌باشد و آب مورد نیاز آبشویی نمک‌ها برای یک هکتار زمین در این سطح حدود ۳–۵ هزار متر مکعب برآورد می‌گردد.

L - به مفهوم نیاز به آبشویی زیاد نمک‌ها است،که در این مورد آب مورد نیاز حدود ۵–۱۰ هزار مترمکعب در هکتار برای آبشویی نمک‌ها برآورد می‌شود.

$\underline{L}$ – نشان‌دهنده نیاز به آبشویی خیلی زیاد می‌باشد و آب لازم برای آبشویی نمک‌های یک هکتار زمین در این شرایط، بیش از ۱۰ هزار متر مکعب برآورد می‌گردد.

X - موارد نیاز به آبشویی نمک‌های محلول خاک در این قبیل موارد ممکن است به دلیل خصوصیات ذاتی یا کیفی خاک‌ها نامعین (غیرمشخص) اعلام گردد که در این شرایط موارد بررسی‌های دقیق‌تری مورد نیاز خواهد بود.

۴-۲-۳- ضریب بازده یا راندمان آبشویی نمک‌های محلول

برای برآورد تقریبی ضریب بازده آبشویی خاک‌ها روش‌هائی وجود دارد که می‌توان در برنامه‌های اجرائی از آنها استفاده نمود. به‌عنوان مثال با کاربرد رابطه زیر امکان دست‌یابی به ضریب بازده آبشویی با دقت تقریبی فراهم می‌گردد.

$$EC_{eq} = \frac{R.EC_{iw}}{f} \qquad (۲۸-۴)$$

که در آن:

f ، ضریب بازده آبشویی (تقریبی)،

EC_{iw} و EC_{eq}، به ترتیب هدایت الکتریکی آب کاربردی (آبشویی) و هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک که به حال تعادل شیمیائی با آب آبشویی در آمده هر دو عامل بر حسب دسی‌زیمنس‌به‌متر (dS/m) می‌باشند. از طرفی رابطه زیر را نیز می‌توان ارائه داد:

$$R = \frac{D_w}{D_p} \qquad (۲۹-۴)$$

که در آن:

D_W، مقدار آب آبشویی کاربردی و

D_P، مقدار آب نفوذ یافته (زهکشی شده) که به صورت تراوش‌های عمقی از لایه موردنظر خارج شده است.

هرگاه مقدار شوری تعادلی (EC_{eq}) منتسب به لایه ۰-۵ سانتی‌متری اولیه نیمرخ خاک پس از نفوذ تمامی میزان آب آبشویی (D_W) باشد در این شرایط می‌توان $D_W=D_P$ تلقی نمود که در نتیجه $R=1$ گردیده و ضریب بازده یا راندمان آبشویی (f) از تقسیم شوری آب کاربردی به شوری تعادلی خاک یعنی (EC_{iw}/EC_{eq}) حاصل می‌گردد که در هر حال مقدار عددی آن از واحد کمتر است.

۴-۲-۴- عملیات آبشویی برای کاربرد نیاز اصلاحی اراضی

اصلاح و بهسازی خاک‌های شور، سدیمی، شور و سدیمی مستلزم برنامه‌ریزی اجرای عملیات آبشویی و پیش‌نیاز آن بهبود شرایط زهکشی خاک و اراضی است. بدون تعبیه نوعی سامانه زهکشی مطلوب و مناسب، خارج نمودن نمک‌های محلول و اصلاح خاک-های مبتلا به موارد شوری و سدیمی بودن در طولانی مدت به احتمال قوی با موفقیت به همراه نخواهد بود.

در خاک‌های مبتلا به شوری و سدیمی بودن، عملکرد محصول تحت تاثیر مستقیم چگونگی پراکنش نمک‌ها در نیمرخ خاک و عمق سطح ایستابی (به‌طورعمده شور تا بسیار شور) قرار دارد. بنابراین اولین اقدام در مورد اصلاح خاک‌های مبتلا به، کاهش میزان شوری خاک تا حد مطلوب از طریق عملیات آبشویی و همچنین جلوگیری از آب ماندگی (ماندابی شدن) سطح زمین‌ها از طریق عملیات آبیاری می‌باشد. تخلیه و دفع نمک‌های تراکم یافته را می‌توان با سه روش:

تراشیدن یا جمع آوری سطحی[1]، شستشوی سطح اراضی[2] و آبشویی معمول و مرسوم[3] به‌انجام رسانید.

– **تراشیدن (جمع‌آوری سطحی)،** عبارت است از برداشت نمک‌های تراکم یافته از سطح اراضی به‌طریق مکانیکی، این روش را می‌توان تنها در مواردی که تراکم انبوه نمک‌ها در سطح خاک بسیار زیاد است به کار گرفت. انجام این روش در مقیاس‌های کوچک مقدور بوده زیرا هزینه‌های اجرایی آن بسیار زیاد است.

– **شستشوی سطح اراضی،** مشتمل بر شستشوی سطحی نمک‌های تجمع یافته در سطح اراضی توسط رواناب سطحی می‌باشد که ضرورت دارد رواناب حاصله را در محل شیب انتهای مزرعه گردآوری و دفع نمود. اعمال این روش در شرایط خاصی می‌تواند تا حدودی موثر واقع شود به عنوان مثال هرگاه نفوذپذیری لایه سطحی خاک، بسیار آهسته و در نیمرخ لایه‌های غیر عمیق خاک نوعی "لایه محدودکننده یا غیرقابل‌نفوذ" وجود داشته باشد، در مقایسه با آبشویی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک و تا حدودی می‌تواند مؤثر واقع گردد. از جمله نکات ضعیف این شیوه آبشویی آن است که نمی‌تواند نمک‌های محلول را از لایه‌های زیرین سطح خاک آبشویی نماید. علاوه بر آن ضروری است که سطح مزرعه دارای شیب (طولی) کافی بوده که بتوان رواناب محتوی نمک‌های محلول را به بخش پائین دست اراضی هدایت نموده و در آن‌جا محل مناسبی نیز برای جمع‌آوری و تخلیه این نوع آب‌های آبشویی وجود داشته باشد. به هر حال در مقایسه با عملیات آبشویی مرسوم، شستشوی سطح اراضی به عنوان یک اقدام کاملاً مؤثر و عملی توصیه نشده است.

– **عملیات آبشویی معمول و مرسوم،** روشی جهت انحلال، نقل و انتقال نمکهای محلول و موجود در لایه‌های مختلف نیمرخ خاک (به ویژه لایه‌های سطحی) از طریق کاربرد آب آبشویی به وسیله حرکت رو به پائین آب (رطوبت) در نیمرخ خاک است. آبشویی را می‌توان بخش عمده‌ای از عملیات اصلاح و بهسازی خاک‌ها منظور نمود. به هر حال

1- Scrapping
2- Flushing
3- Leaching

هرگاه خاک‌ها از نظر کیفی شور، شورو سدیمی و یا حتی سدیمی نیز باشند، اجرای عملیات آبشویی در مورد اصلاح آنها اجتناب‌ناپذیر می‌باشد.

آب‌شویی خاک‌های شور را می‌توان پس از تسطیح و کرت‌بندی (مرزبندی) مزرعه به‌طورمستقیم به انجام رسانید. لیکن در مورد خاک‌های سدیمی عملیات آبشویی باید پس از کاربرد مواد اصلاح کننده خاک صورت گیرد.

آبشویی خاک‌های شور در کشور در اکثر شرایط به‌عنوان اقدامی اصلاحی موفقیت‌آمیز بوده است. نتایج بعضی پژوهش‌ها نیز نشان می‌دهد که هرگاه پس از عملیات آب‌شویی مقدماتی نسبت به کشت زراعت برنج (به صورت کشت مستقیم بذر) اقدام و عملیات اصلاحی استمرار یابد، موجب کاهش قابل ملاحظه شوری، واکنش (pH) و درصد سدیم تبادلی (ESP) خاک‌های مبتلا به مشروط به تعبیه سامانه های زهکشی سطحی و زیرزمینی خواهد شد.

دوباره باید متذکر گردد که قبل از شروع عملیات اصلاحی و آبشویی، سطح اراضی مورد نظر باید تسطیح و کرت‌بندی (مرزبندی) گردد (درشرایط آبشویی نمک‌ها به روش‌های غرقاب دایم یا متناوب). بهتر آن است که سطح مزرعه (و قطعات) با استفاده از وسایل و تجهیزات مناسب مورد شخم عمیق قرار گیرد و هرگاه خاک از نظر بافت بسیار سنگین و دارای نفوذپذیری بسیار آهسته‌ای باشد در شرایطی افزودن و اختلاط مقادیر لازم ماسه به خاک لایه سطحی می‌تواند مورد توجه قرار گیرد. پس از انجام اقدامات گفته شده می‌توان مقادیر لازم آب آبشویی را با تناوب کاربرد (مستمر و یا متناوب) ۱۵۰۰– ۲۰۰۰ متر مکعب در هکتار در هر نوبت به انجام رسانید.

عملیات اصلاحی اراضی (از جمله آبشویی نمک‌های محلول) را باید در ایامی از سال برنامه‌ریزی و اجرا نمود که در آن دوره سطح اراضی بدون پوشش زراعی (آیش و یا بایر)، آب مورد نیاز برای آبشویی مهیا و سطح آب زیرزمینی در عمق مناسبی (نسبت به سطح خاک) قرار داشته باشد. هرگاه کیفیت آب قابل عرضه برای آبشویی در فصل یا فصول مورد نظر مناسب نباشد، عملیات آبشویی را می‌توان در فصل یا فصول مرطوبی سال به مرحله اجرا درآورد که در این ایام بتوان از آب‌های حاصل از بارندگی نیز بهره‌مند شد. برای صرفه‌جویی در میزان آب و داشتن عوایدی (درآمد) به‌منظور استهلاک بخشی از هزینه‌های مربوطه، می‌توان عملیات آبشویی را با کشت و کار بعضی گیاهان زراعی مقاوم

به شوری و سدیمی بودن از جمله زراعت‌های برنج و جو به صورت توامان به انجام رسانید. درهرحال بهتر آن است که میزان هدایت الکتریکی زه‌آب حاصل از مراحل آبشویی در زمان‌های متناسبی اندازه‌گیری، مقایسه و پایش گردد تا بدین‌وسیله استمرار فرایند شوری‌زدایی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک‌ها امکان‌پذیر باشد. از جمله فاکتورهای بسیار مهم در مورد اهداف آبشویی، کیفیت آب کاربردی (آشویی) است. در این ارتباط آب-های محتوی نمک‌های کم در آبشویی نمک‌ها بسیار مؤثر می‌باشد. وجود نمک‌های کلسیم (درآب و خاک) راندمان کاربرد آب آبشویی را افزایش می‌دهد. آب مورد مصرف در امر آبشویی حتی‌المقدور باید از نسبت کاتیونی یک و یا بیشتر بین کاتیون‌های دو ظرفیتی نسبت به یک ظرفیتی برخوردار باشد. بعضی منابع نیز اعلام نموده‌اند که درصد سدیم (%Na) آب کاربردی باید از ۶۰ کمتر باشد. وفور آنیون‌های کربنات (CO_3^{2-}) و بی‌کربنات (HCO_3^-) و نسبت جذب سدیم (SAR) آب آبشویی می‌تواند بر روی ویژگی‌های فیزیکی خاک‌ها اثرگذار باشد (نامطلوب). بنابراین بهتر آن است که این قبیل آب‌ها را قبل از مصرف با استفاده از آب‌هائی با کیفیت مناسب‌تر اختلاط داده شده و رقیق گردند. هر چند آب‌های بسیار شور را نیز می‌توان در مراحل اولیه آبشویی نمک‌های محلول نیمرخ خاک‌ها مورد استفاده قرار داد. بعضی از گزارش‌ها نمایانگر آن است که کاربرد آب‌هایی حتی با هدایت الکتریکی ۲/۵۵ دسی زیمنس‌به‌متر (کلاس ۴ در طبقه‌بندی ویلکاکس) هرگاه به میزان ۴۰ تا ۶۰ میلی‌متر افزون به ظرفیت زراعی (FC) به ترتیب در خاک‌های شنی و رسی به کار گرفته شوند موجب شور شدن خاک و اراضی نخواهند شد. که در این حالت میزان نمک‌های شسته شده در خاک‌های شنی بیشتر از خاک‌های رسی بوده است.

بعضی منابع برای مطالعه بیشتر

۱- بای‌بوردی، محمد ۱۳۸۵: فیزیک خاک، شماره ۱۶۷۲، چاپ هشتم، انتشارات دانشگاه تهران.
۲- پذیرا، ابراهیم ۱۳۸۸: بیلان آب و نمک در رویشگاه گیاهان (زراعی و باغی) و ضرورت کنترل آن، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی- تهران.
۳- دستورالعمل آزمایشهای آبشویی خاکهای شور و سدیمی در ایران، نشریه شماره ۲۵۵، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، سازمان مدیریت منابع آب- وزارت نیرو ۱۳۸۱.
۴- راهنمای کاربرد مدل‌های تجربی و نظری آبشویی نمک‌های خاکهای شور، نشریه شماره ۳۵۹، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، سازمان مدیریت منابع آب- وزارت نیرو ۱۳۸۵.
۵- مبانی و ضوابط طراحی تجهیز و نوسازی اراضی خشکه‌زاری (آبیاری ثقلی)، جلد سوم زهکشی، نشریه شماره ۳-۳۴۶، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، معاونت برنامه‌ریزی موسسه پژوهش‌های برنامه‌ریزی و اقتصاد کشاورزی، وزارت جهاد کشاورزی ۱۳۸۵.
6- Dieleman, P.J.1963: Reclamation of Salt -affected Soils in Iraq. Veenman, Wageningen.
7- Reeve R.C. 1957: The Relation of Salinity to Irrigation and Drainage Requirements. Third Congress of International Commission on Irrigation and Drainage, Transactions 5:10.175-10.187.
8- Richards, L.A., (Editor). 1954: Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. Agricultural Handbook No. 60, USDA, Washington, D.C.
9- Tanji, K.K (Editor). 1990: Agricultural Salinity Assessment and Management. ASCE, USA.
10- Sparks, D.L. 1995: Environmental Soil Chemistry, Academic Press.

فصل پنجم: چگونگی پویایی نمک های محلول و آلاینده‌ها در نیمرخ خاک و راه کارهای بررسی آن

۵-۱- مقدمه

هرگاه ترکیبات محلـول در آب بـه وسـیله کـاربرد آب‌هـای بـا کیفیـت نـامطلوب و یـا از راه خیزموئینگی، به‌دلیل وجود سطوح ایستابی کم عمق و شور به خاک افزوده شـوند، مـی‌تواننـد محیط رویش گیاهان را به نحو بسیار نامناسبی تحت تاثیر قرار دهنـد. ایـن رونـد، در منـاطق "خشک و نیمه خشک" که خاک‌های آن دراکثر موارد بافت سنگین و شرایط زهکشی طبیعی (داخلی) نامناسبی دارند، تسریع می‌گردد. بنابراین ضرورت دارد تا ترکیبات (نمک‌هـای) تـراکم یافته در عمق به خصوصی از نیمرخ خاک مورد آبشویی یا پـالایش قـرار گرفتـه و بـا اعمـال مدیریت مناسب در کاربرد منابع آب و خاک، ترکیبات افزوده شده به خاک‌هـا را آبشـویی و یـا تخلیه نمود.

به‌طورکلی تخلیه، دفع و آبشویی نمک‌های غیرضروری و تراکم یافته از محدوده توسعه ریشـه گیاهان یکی از مواردی است که فرآیند "جایگزینی اختلاط‌پذیر[1] " درخصوص آن کاربرد دارد.

جایگزینی اختلاط‌پذیر، فرآیندی است که هرگاه سیالی با سیال دیگر اختلاط یافته و جایگزین آن گردد به وقوع می‌پیوندد.

باتوجه به تعریف بالا، ملاحظه می‌گردد که در بیشتر شرایط، آبشـویی نمـک‌هـای محلـول از نیمرخ خاک، عمل ساده "جایگزینی آب حاصل از نفوذ عمقی با عصاره اشباع خـاک" نیسـت. بلکه، مربوط به اثر توامان دو فرآیند "پخشیدگی[2] " و " انتشار[3] " ترکیبـات محلـول در نیمـرخ خاک می‌باشد. در نتیجه این فرآیندها، آبی که به طور عمقی در خاک نفود مـی‌کنـد بـا رطوبـت موجود در نیمرخ خاک اختلاط یافته و سپس با ادامه نفوذ، مواد محلول را نیـز بـه اعمـاق خـاک منتقل می‌کند. هرچه آب مورد نیاز برای آبشویی کامل کمتر باشد "بـازده آبشـویی[4] " بـیش‌تـر

1- Miscible Displacemet
2- Diffusion
3- Dispersion
4- Leaching Efficiency

خواهد بود. بازده آبشویی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک تابع عواملی همچون رطوبت خاک، مقدار آب آبشویی، اندازه و آرایش تخلخل خاک، روش آبشویی، پراکنش عمودی و تراکم ترکیبات در نیمرخ خاک می‌باشد.

همان‌گونه که گفته شد، به‌منظور مدیریت بهینه مصرف آب، درک مفاهیم و عوامل موثر بر فرآیندهای یاد شده (پویایی نمک‌ها)[1] در خاک اهمیت فراوان دارد بنابراین، لازم است که این مفاهیم نظری، به طور عملی در مدیریت منابع آب و خاک به‌کار روند تا نه تنها امکان اصلاح خاک‌ها فراهم گردد، بلکه از پدیده خطرناک گرایش "مجدد" خاک‌ها به نمک و در نتیجه، از اثرات نامطلوب آنها به "خاک، گیاه و محیط زیست" جلوگیری شود.

۵-۲-ملاحظات زیست‌محیطی و حرکت توده‌ای نمک‌های محلول و آلاینده‌ها در خاک‌ها

در بررسی‌های مرتبط با حرکت آلاینده‌ها در نیمرخ خاک و آلودگی منابع آب زیرزمینی نیز درک نظریه‌های پایه‌ای موجد حرکت توامان آب و نمک‌ها و اثرات آن بر آب‌های زیرزمینی بسیار با اهمیت است. واکنش‌هایی که بر اثر آن مواد محلول در آب حل می‌شوند در کتاب‌های شیمی آب و هیدروژئولوژی به تفصیل بیان گردیده است. به‌هرحال، همان‌طور که در مباحث قبل نیز بیان گردید، فرآیندهای مرتبط با حرکت نمک‌ها و یا مواد محلول آب، که در محیط متخلخل تحرک و جابه‌جایی می‌نمایند، پیچیده است. هرچند امکان بیان ریاضی این فرآیندها کم و بیش امکان‌پذیر است، لیکن در بعضی شرایط درک کامل این‌که چگونه می‌توان ارقام میدانی(مزرعه‌ای) را در روابط نظری منظور و از آن نتیجه‌گیری نمود، کار ساده‌ای نیست.

در مجموع دو فرآیند اصلی پخشیدگی و حرکت توده‌ای در نقل و انتقال نمک‌های محلول در محیط‌های متخلخل نقش دارند، "پخشیدگی" فرآیندی است که بر اثر آن گونه‌های یونی و ذرات با اندازه ملکول و محلول در آب، از محلی با غلظت بیشتر (فعالیت شیمیایی) به سمت نقاطی با غلظت کمتر حرکت می‌کنند. "حرکت توده‌ای، یا حرکت روان و یا حرکت انبوه[2] "، موجب حرکت نمک‌های محلول از طریق جریان آب در محیط متخلخل می‌گردد. ضمن آن- که فرآیند "انتشار" نیز منجر به ترقیق نمک‌های محلول و کاهش غلظت آن‌ها می‌شود و

1- Solute Movement
2- Advection

بالاخره فرآیندهای شیمیایی و فیزیکی موجب تأخیر یا "بازدارندگی[1] " حرکت ترکیبات به‌نحوی که تحرک آن‌ها در مقایسه با فرآیند ادوکسیون کمتر است، می‌گردد. انتشار[2] فرآیندی است که طی آن نمک‌ها به دلیل شیب سرعت لایه‌های موازی آب در جهت جریان آب و یا عمود بر آن پخشیده می‌شوند.

۵-۲-۱- فرآیند پخشیدگی

پخشیدگی یک نمک در آب به وسیله قوانین معروف "فیک" قابل بیان است و قانون اول فیک تشریح کننده شدت جریان (فولکس یا شار) یک نمک در شرایط حالت همگام است، که به شرح زیر قابل ارائه می‌باشد.

$$F = -D\frac{dC}{dx} \qquad (۱-۵)$$

که در آن:

F = شدت جریان جرمی نمک از واحد سطح در واحد زمان،

D = ضریب پخشیدگی (مساحت بر زمان)،

C = غلظت نمک (جرم بر حجم)،

x = فاصله طی شده توسط نمک و

dC/dx= شیب غلظت (جرم برحجم بر فاصله) می‌باشد.

علامت منفی (-) در رابطه (۵-۱) بیانگر آن است که جهت جریان نمک‌ها از محلی با غلظت بیشتر به محلی با غلظت کمتر می‌باشد. مقادیر ضریب پخشیدگی (D) برای انواع "الکترولیت‌ها" در آب به خوبی مورد مطالعه قرار گرفته و برای کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی در محلول آب مقادیر آن از ۱×۱۰^{-۹} تا ۲×۱۰^{-۹} مترمربع در ثانیه متغیر است.

در سیستم‌هایی که امکان تغییر غلظت محلول با زمان متصور است، قانون دوم "فیک" می‌تواند به‌کار گرفته شود، رابطه مربوطه به شرح زیر می‌باشد:

$$\frac{dC}{dt} = D\frac{d^۲C}{dx^۲} \qquad (۲-۵)$$

1- Retardation

2- Dispersion

که در آن :

(dC/dt)= تغییرات غلظت نسبت به زمان است.

قوانین اول و دوم فیک برای جریان یک بعدی است. برای شرایط سه بعدی جریان، اشکال کلی‌تری از آن‌ها موردنیاز می‌باشد.

ذکر این نکته نیز ضروری است که در یک محیط متخلخل، پدیده پخشیدگی با همان سرعتی که در آب رخ می‌دهد، به وقوع نمی‌پیوندد. زیرا، یون‌ها باید مسیرهای طولانی‌تری را در اطراف ذرات خاک طی نمایند. علاوه بر آن، پدیده پخشیدگی به‌طور اصولی در منافذ یا معابر باز صورت می‌گیرد. به دلیل آن‌که در محیط متخلخل، ممکن است بعضی منافذ بسته باشند، بدین‌دلیل ضروری است به جای ضریب پخشیدگی از "ضریب پخشیدگی موثر" استفاده شود. این ضریب با علامت (D*) نشان داده می‌شود و مقدار آن از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$D^* = w.D \qquad (۳-۵)$$

که در آن :w = ضریب تجربی می‌باشد که طی آزمون‌های آزمایشگاهی قابل برآورد و محاسبه است.

برای انواع یا گونه‌هایی از یون‌ها که جذب ذرات معدنی (از قبیل رس) نمی‌گردند ، مقدار این ضریب بین ۰/۰۱–۰/۵ مشخص شده است.

برخی پژوهشگران، رابطه‌ای عملی بین ضریب پخشیدگی مؤثر (D*) و ضریب پخشیدگی (D) بدین‌نحوه ارائه نموده‌اند که مقدار (D*) برابر با حاصل‌ضرب (D) در میزان تخلخل محیط است، که مقدار حاصله باید بر مربع میزان اعوجاج مسیر جریان گونه‌های پخشیده تقسیم گردد. اعوجاج در واقع طول حقیقی مسیر جریان هر ذره است که به‌طورمعمول به شکل "سینوسی" در نظر گرفته می‌شود. که به فاصله خط مستقیم انتهای مسیر یا معبر جریان باید تقسیم گردد.

متأسفانه اعوجاج مسیر جریان در خاک را نمی‌توان در شرایط مزرعه‌ای تعیین نمود و امکان دست‌یابی به آن فقط ازراه روش‌های آزمایشگاهی دقیق تا حدودی امکان‌پذیر می‌باشد.

فرآیند پخشیدگی به‌دلیل این واقعیت که یون‌ها باید از نظر الکتریکی، بدون بار باقی بمانند، موضوع را پیچیده‌تر می‌نماید. به‌عنوان مثال هرگاه محلولی از کلرور سدیم (NaCl) موجود

باشد، کاتیون سدیم (Na^+) نمی‌تواند سریعتر از آنیون کلرید (Cl^-) پخشیده گردد مگر آن‌که یون‌های دیگر با بار منفی در آن محل وجود داشته باشند که سدیم (Na^+) بتواند در آن پخشیده گردد. باید متذکر شد که اگر نمک (یا یون) در محیط متخلخل به‌صورت جذب سطحی به‌وسیله مواد معدنی درآید، میزان پخشیدگی خالص آن به‌طور محسوسی کمتر از گونه‌هایی است که جذب سطحی نمی‌شوند. این موضوع با تفصیل بیشتری در مبحث "بازدارندگی" بیان خواهد شد.

به‌طور کلی برای نمک‌های محلول، این امکان فراهم است که در یک محیط متخلخل بر اثر پدیده پخشیدگی حرکت نمایند، حتی اگر محلول موجود در خاک و یا آب زیرزمینی تحرکی نداشته باشد.

بنابراین حتی در شرایطی که شیب هیدرولیکی برابر با صفر باشد، نمک‌ها قادر به حرکت (تحرک) در محلول خاک و یا آب زیرزمینی می‌باشند. در مواد سخت (صخره‌ها) و یا خاک‌های با هدایت هیدرولیکی خیلی کم، که حرکت آب در آن‌ها بسیار آهسته است، پدیده پخشیدگی ممکن است موجد حرکت سریع‌تر نمک‌ها در مقایسه با جریان درون خاک و یا آب زیرزمینی باشد. در چنین حالتی فرآیند پخشیدگی در مقایسه با جریان توده‌ای از اهمیت بیشتری برخوردار است.

۵-۲-۲- فرآیند جریان انبوه

شدت جریان در محیط متخلخل، خاک و یا آب‌های زیرزمینی را می‌توان با استفاده از "قانون دارسی"[1] به شرح زیر ارایه نمود:

$$V_x = \frac{K}{ne}.\frac{dh}{dl} \qquad (۴-۵)$$

که در آن :

V_x = متوسط سرعت خطی جریان ($L.T^{-1}$)،

K = هدایت هیدرولیکی یا ضریب آبگذری ($L.T^{-1}$)،

ne = تخلخل موثر محیط متخلخل یا توده خاک (−)، و

$\frac{dh}{dl}$ = گرادیانت یا شیب هیدرولیکی است ($L.L^{-1}$).

1- Darcy's law

نمک‌های محلول و یا آلاینده‌هایی که از طریق فرآیند جریان انبوه تحرک می‌نمایند، میزان حرکت آن‌ها برابر با "سرعت متوسط خطی[1] " بیان شده در رابطه بالا است.

۵-۲-۳- فرآیند انتشار مکانیکی

هرگاه به سیاله‌ای نمکی محلول و یا نوعی آلاینده افزوده شود، ضمن جریان در محیط متخلخل با سیاله‌ای که چنین ماده‌ای به آن اضافه نشده اختلاط می‌یابد که در نتیجه آن نمک یا آلاینده افزوده شده بر اثر فرآیند "انتشار" ترقیق می‌یابد، اختلاط حاصله در طول مسیر حرکت سیاله "انتشار طولی[2]" نامیده می‌شود. انتشاری که غیرهم‌جهت با خطوط جریان سیاله در حال حرکت ایجاد می‌گردد به‌نام "انتشار جانبی[3] " نام دارد. به‌طورکلی در فرآیند انتشار سه عامل اصلی مؤثر می‌باشند.

الف- به هنگام عبور سیاله از درون خلل و فرج، سرعت جریان در مرکز تخلخل بیشتر از کناره‌ها می‌باشد.

ب- بخشی از سیاله مسیر طولانی‌تری را در مقایسه با بخش دیگری از سیاله طی می‌کند.

پ-سیاله‌ای که از درون منافذ درشت عبور می‌نماید، سرعت آن بیشتر از جریان سیاله از منافذ ریز است.

انتشار جانبی به‌دلیل این واقعیت حاصل می‌گردد که سیاله محتوی نمک‌های محلول و یا آلاینده‌ها ضمن جریان در محیط متخلخل، خطوط جریان حاصله منشعب گردیده و به سمت دیواره‌های تخلخل پراکنده می‌شوند. این پدیده حتی درحالت جریان خطی (آرام) که در مورد حرکت آب در خاک و حرکت آب‌های زیرزمینی حاکم است، نیز صدق می‌نماید.

کمیّت انتشار مکانیکی، برابر با حاصلضرب متوسط سرعت خطی (معادله ۵-۴) و ضریبی به‌نام "انتشارپذیری پویا[4] " است که به اختصار با علامت (A_l) نشان داده می‌شود و به‌وسیله رابطه زیر بیان می‌گردد:

$$\text{انتشار مکانیکی} = A_l.V_x \qquad (۵-۵)$$

1- Average Linear Velocity
2- Longitudinal Dispersoin
3- Lateral / Transverse Dispersion
4- Dynamic Dispersivity

۵-۲-۴- انتشار هیدرودینامیک

فرآیند "پخشیدگی مولکولی" و " انتشارپذیری مکانیکی" را نمی‌توان به هنگام حرکت آب در خاک و یا آب‌های زیرزمینی از یکدیگر تفکیک نمود. به همین دلیل پارامتر دیگری به نام "ضریب انتشار هیدرودینامیکی" یا (D_l) باید معرفی شود . این ضریب مشتمل بر اثر توامان فرآیندهای "اختلاط مکانیکی و پخشیدگی" است. برای جریان یک بعدی، این رابطه را می‌توان به شرح زیر ارائه داد:

$$D_l = A_l . V_x + D^* \qquad (۶-۵)$$

که در آن :

D_l = ضریب انتشار هیدرودینامیکی،

A_l = انتشارپذیری،

V_x = متوسط سرعت خطی جریان در محیط متخلخل یا آبخوان و

D^* = پخشیدگی مولکولی می‌باشد.

فرآیند انتشار طولی را می‌توان با تشریح آزمایش ساده زیر روشن نمود.

استوانه‌ای را با ماسه پر و آن‌را طوری قرار می‌دهند که آب مقطر بتواند با دبی ثابتی در آن جریان یابد. سپس "جریان ورودی" را با مایع محتوی یک درصد نمک (NaCl) محلول، تعویض نموده و شروع به پایش "جریان خروجی" از طریق اندازه‌گیری یون کلرید می‌گردد. جریان خروجی در ابتدا بدون کلرید می‌باشد. زیرا آب مقطر موجود در استوانه در حال عبور یا رانده شدن به سمت مجرای خروجی است. در دوره‌های زمانی لازم، باید شروع به اندازه‌گیری و تعیین مقدار کلرید موجود در جریان خروجی نمود. ابتدا تراکم یا غلظت کلرید در آب خروجی بسیار کم بوده و "منحنی رخنه یا[1]" بر پایه غلظت یک درصد محلول نمک نمی‌باشد. این تراکم یا غلظت به‌تدریج افزایش می‌یابد تا آن‌که غلظت آب خروجی به یک‌درصد برسد. متذکر می‌گردد که اولین مقادیر یون‌های کلر خروجی برای طی مسیر (طول استوانه) و رسیدن به انتهای ستون ماسه، از کوتاه‌ترین مسیرهای ممکن عبور می‌نمایند. به‌نحوی که در بدو شروع ، افزودن مایع محتوی نمک به ستون موردنظر پدیده "پخشیدگی پیشانه‌ای" ممکن است حتی موجب رسیدن مقادیری کلر به انتهای استوانه (محل خروجی) و قبل از آن‌که مایع

1- Breakthrough Curve (BTC)

محتوی نمک قادر به پیشروی در ستون ماسه باشد، گردد. زیرا مقدار کلر اولیه به‌وسیله آب مقطر موجود در ستون ماسه‌ای رقیق گردیده و همزمان با آب به انتهای ستون ماسه می‌رسد، مقدار آب مقطر موجود که صرف رقیق نمودن می‌گردد به‌طور متوالی کاهش می‌یابد تا زمانی که محلول با شوری یک درصد نمک کلیه منافذ موجود در محیط متخلخل (ماسه) را اشغال نماید، به‌طوری‌که در نهایت آب خروجی دارای غلظت مشابه‌ای (یک‌درصد شوری) می‌گردد.
رابطه یک بعدی انتشار هیدرودینامیکی را می‌توان به‌صورت زیر نوشت:

$$D_l \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - V_x \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{\partial C}{\partial t} \qquad (۷-۵)$$

که در آن:
D_l = ضریب انتشار طولی،
C = غلظت نمک‌های محلول،
V_X = متوسط سرعت جریان در جهت محور افقی (x) و
t = زمان از هنگام شروع پیشروی نمک‌ها می‌باشد.
میزان غلظت (C) در فاصله‌ای مانند (L) و از منشایی که غلظتی معادل ($C_\circ$) در زمان (t) داشته باشد به‌وسیله رابطه زیر قابل ارائه است:

$$C = \frac{C_\circ}{2}\left[\operatorname{erfc}\left(\frac{L - V_x.t}{2\sqrt{D_l.t}}\right) + \exp\left(\frac{V_x.L}{D_l}\right).\operatorname{erfc}\left(\frac{L + V_x.t}{2\sqrt{D_l.t}}\right)\right] \qquad (۸-۵)$$

که در آن: erfc بیانگر "متمم تابع خطا " است و سایر علائم پیش‌تر تعریف شده‌اند.
عبارت $P = (V_x.L / D_l)$، به‌عنوان عدد پکلت[1] که بدون بُعد می‌باشد، نامیده می‌گردد. این عدد (P) در حقیقت نمایانگر آن است که چه مقدار از مواد آلاینده یا نمک‌ها به وسیله جابه‌جایی و جریان آب و چه میزانی توسط انتشار یا پخشیدگی انتقال یافته است.
توجه: یک راه‌حل تقریبی با اختلاف ۰/۷درصد برای محاسبه "تابع خطا[2] " به وسیله حل تحلیلی به صورت زیر ارائه گردیده است.

1- Peclat Number
2- Error Function

$$erf(x) = \sqrt{1 - \exp\left(\frac{-4x^2}{\pi}\right)} \qquad (۹-۵)$$

که در آن:

erf = تابع خطایی متغیر (x)،

exp = نماد حالت نمایی[1]،

x = متغیر مورد نظر و

π = عدد پی (۳/۱۴۱۵۹) می‌باشد.

نکته : روابط زیر بین «تابع خطا» و «متمم تابع خطا» نیز برقرار می‌باشد:

$$erfc(x) = 1 - erf(x) \qquad (۱۰-۵)$$

$$erfc(-x) = 1 + erf(x) \qquad (۱۱-۵)$$

تذکر: به‌عنوان مثال برای x=۰/۵ ، erf(x)=۰/۵۲۲۱۳۳ و erfc(x)=۰/۴۷۷۸۶۷ با استفاده از روابط گفته شده قابل محاسبه است و بدین‌ترتیب مجموع آن‌ها یعنی exf(x)+erfc(x)=۱ می‌باشد. باید توجه داشت که هر مقدار متغیر (x) اضافه شود، مقدار «تابع خطایی آن بزرگ‌تر و در نتیجه متمم تابع خطایی مربوطه کوچک‌تر» می‌شود. به‌طوری‌که هرگاه $x \to \infty$ میل نماید، exf(x)=۱/۰ و erfc(x)=۰ خواهد شد.

باید اذعان نمود که پخشیدگی و انتشار مکانیکی موجب می‌گردند که پیشانی نمک‌ها پیشروی سریع‌تری از آنچه به‌طریق پیش‌بینی یا برآورد به‌وسیله سرعت جریان متوسط خطی است، می‌تواند داشته باشد. ضریب انتشارپذیری هیدرودینامیکی (A_l) عاملی است که با مقیاس ارتباط دارد. بدین معنی که هرچه زمین‌هایی که در آن اندازه‌گیری این ضریب موردنظر است، وسیع‌تر باشد، مقدار این ضریب بزرگتر خواهد بود. مقادیر آزمایشگاهی به‌مراتب از آن‌چه در مزرعه حاصل می‌گردند کوچکتر می‌باشند. مقادیر آزمایشگاهی به‌نظر می‌رسد که فقط به‌صورت سانتی‌متر قابل بیان باشند، لیکن در ارتباط با بررسی‌های میدانی (هرچند موارد محدود است) بیان این کمّیت به‌صورت متر ارائه شده است. این موضوع مرتبط با انتشار ماکروسکوپیک می‌باشد که به‌دلیل غیرهمگنی قابل توجه در تشکیلات سنگ‌های مادری زیرین است. ارقام معدودی که از مقادیر مزرعه‌ای قابلیت انتشار در دسترس است نشان

1- Exponential

می‌دهد که محدوده قابلیت انتشار طولی برای رسوبات " آبرفتی[1] " بین ۱۲-۶۱ متر، ضمن آن‌که قابلیت انتشار جانبی برای همان نوع رسوبات بین۴-۳۰ متر بوده است. بررسی‌های انجام شده درخصوص رسوبات "یخچالی[2] " نمایانگر آن است که مقادیر انتشار طولی ۲۱ متر و مقدار جانبی آن ۴ متر بوده است. مقادیر بزرگتری برای "سنگ‌های بازالتی ترک‌دار" که دارای غیرهمگنی [هتروژنی[3]] زیادتری می‌باشند، گزارش شده است.

به‌عنوان یک تجربه علمی، ضریب انتشارپذیری طولی (A_l) را می‌توان حدود یک‌دهم طول خط جریان با بعُد مشابه برآورد نمود. در مواد بسیار همگن چنین به‌نظر می‌رسد که قابلیت انتشار طولی ممکن است به اندازه ثابتی یعنی یک متر و یا کم‌تر و به فاصله حدود ۵۰ متر از منشاء نفوذ آلاینده‌ها باشد.

به‌دلیل اثر پدیده انتشار هیدرودینامیکی، غلظت نمک‌ها با افزایش فاصله از منشاء خود کاهش می‌یابند. نمک‌ها در جهت حرکت آب زیرزمینی در مقایسه با جهت عمود بر حرکت جریان، بیشتر پخش می‌گردند که این امر به دلیل آن است که قابلیت انتشار طولی بزرگ‌تر از قابلیت انتشار جانبی است. هرگاه منبع و منشاء آلایندگی تداوم داشته باشد، حالت گستردگی نامنظم و زمانی که منشاء یا منبع مقطعی باشد، حالت گستردگی بی‌شکلی را فراهم می‌آورد که با زمان گسترش می‌یابد. ضمن آن‌که حرکت به سمت پایین با مسیر جریان‌آب زیرزمینی نیز حاصل می‌گردد.

غیرهمگنی (هتروژنی) در ساختار آبخوان‌ها می‌تواند موجب تغییر الگوی حرکت نمک‌ها به نحوی که با آنچه در حالت همگنی مواد متشکله لایه آبدار اتفاق می‌افتد، گردد. زیرا جریان آب‌های زیرزمینی، همواره از محل‌هایی با نفوذپذیری بیشتر عبور می‌نماید. بدین‌دلیل، تراکم نمک‌ها یا آلاینده‌ها در این مناطق بیش‌تر خواهد بود.

۵-۲-۵- شرایط و اعتبار موارد کاربرد رابطه انتشار

مطالعات نشان داده است که " رابطه انتشار" در محل‌های نزدیک به منشاء آلاینده اعتبار کاربردی کافی ندارد. بنابراین برای دوره‌های زمانی کوتاه یا فاصله کم از منبع یا منشاء، موارد

1- Alluvial
2- Glacial
3- Heterogeny

بیان شده درخصوص حرکت آلاینده‌ها در خاک روش مناسبی نمی‌باشد. به عبارت دیگر، اعتبار کاربردی این رابطه در شرایطی است که منبع آلاینده‌ها با فاصله ده‌ها متر از محل مورد نظر قرار داشته باشد. بنابراین، ملاحظه می‌گردد که نمک یا آلاینده برای طی این مسیر به زمان نسبی طولانی نیاز دارند. به‌دلیل اثرات "غیرهمگنی" بر فرآیند انتشار، بررسی‌های میدانی و تفصیلی در ارزیابی آن موردنیاز می‌باشد. ضمن آن‌که برای توسعه فرآیندهای توامان ادوکسیون- انتشار در شرایط نزدیکی منبع آلاینده در حال حاضر تحقیقات تکمیلی دیگری همچنان موردنیاز است.

۵-۲-۶- پدیده تاخیر

به طورکلی، نمک‌های موجود در نیمرخ خاک و یا سازندهای آبخوانی را می‌توان به دو دسته "بی‌اثر یا غیرفعال[1] " و "واکنش‌گر[2]" تقسیم بندی نمود. نمک‌های غیرفعال در توده خاک یا در آبهای زیرزمینی، واکنشی بروز نمی‌نمایند و تحت‌تأثیر فعالیت‌های بیولوژیک یا شرایط رادیواکتیو تغییر وضعیت (تجزیه وتخریب) حاصل نمی‌کنند. یکی از مناسب‌ترین نمونه‌های قابل بیان یون کلر (Cl) می‌باشد. لیکن نمک‌ها یا عناصر واکنش‌گر (واکنش‌پذیر) می‌توانند توسط عوامل شیمیایی، بیولوژیک و یا رادیواکتیو تحت تأثیر قرار گرفته که در نتیجه آن از غلظت آن‌ها کاسته شود. واکنش‌های شیمیایی مشتمل بر "جذب و دفع"، "تعویض" یا "تبادل کاتیونی"، "رسوب و حلالیت مجدد" و سرانجام واکنش‌های "اکسایش و کاهندگی" می‌باشند. بسیاری از ترکیبات سمّی شیمیایی می‌توانند از طریق تجزیه‌های بیولوژیک به مواد و یا ترکیبات ساده‌تری تبدیل شوند. متأسفانه، مشتقات نهایی حاصله ممکن است "سرطان‌زا" باشند. نمک‌های کلروره شده مانند "تترا کلرواتان"، می‌توانند به‌سرعت به حالت "دی‌هالوژنه" درآیند به‌نحوی که ابتدا به صورت "تریکلرواتان"، سپس "دی‌کلرواتان" و در نهایت بصورت "ونیل کلرواید" که نوعی ماده "سرطان‌زا" است، در می‌آید و کلرواتان حاصل تجزیه نهایی و "دی‌هالوژنه" ۱،۱، ۱ تری کلرواتان می‌باشد.

برای اکثر "مواد زاید و خطرناک" فرآیند "جذب- دفع" و واکنش‌های "تبادلی" بین نمک‌ها و بخش جامد توده خاک با اهمیت است. بسیاری از عناصر سنگین با سرعت برروی سطح ذرات

1- Conservative
2- Reactive

جامد محیط متخلخل جذب و به‌وسیله ذرات رس از طریق فرآیند تبادل یونی نگه‌داری می‌گردند. مقدار جذب و دفع یا تبادل یونی بین نمکی به‌خصوص و یک خاک مشخص را می‌توان با روش‌های آزمایشگاهی بدست آورد.

در تحقیقات آزمایشگاهی بررسی فرآیند "جذب"، باید مقدار مشخصی خاک را که دارای میزان معینی نمک‌های محلول است انتخاب نمود و در اولین اقدام مقادیری محلول با غلظت‌های یونی متفاوت را تهیه نمود. برروی نمونه‌های خاک که از قبل توزین شده‌اند، مقادیر مشخصی از محلول تهیه شده و با غلظت‌های متفاوت قبلی، به نمونه‌های خاک موردنظر افزوده می‌شود. در اقدام بعدی مقادیر متفاوتی "مواد خشک جاذب" با مقداری از همان محلول‌های تهیه شده مخلوط می‌گردد، که هرکدام از این محلول‌های مصرفی غلظت مربوط به خود را دارند. پس از اطمینان از برقراری غلظت تعادلی بین خاک و محلول، غلظت تعادلی هر نمونه تعیین می‌گردد. مقدار نمک‌های جذب شده به وسیله نمونه خاک تناسب مستقیمی با فعالیت شیمیایی نمک‌ها دارد. مقدار جذب شده بوسیله نمونهٔ خاک را می‌توان از اختلاف جرمی نمک‌ها قبل از آزمایش و در محلول تعادلی محاسبه نمود. در نتیجه آزمون هر نمونه، می‌توان مقدار جذب شده در واحد وزن نمونه خاک (C*) را به‌عنوان تابعی از غلظت نمک‌های محلول باقی مانده در محلول به‌دست آورد. جزییات بیش‌تر این روش در مباحث مربوط به شرایط هم‌دمای "لانگ موییر[1] " و "فروندلیخ[2] " در کتب مرجع توضیح داده شده است.

ویژگی‌های جذبی به‌طور معمول به‌صورت نمودار ترسیم می‌گردند. نمودار حاصل، رابطه بین جرم نمک‌های جذب شده در واحد جرم خاک را به‌عنوان تابعی از غلظت نمک نشان می‌دهد. با کاربرد هرکدام از هم دمای "لانگ‌موییر" و یا "فروندلیخ" می‌توان این روابط را تشریح نمود. چنین روابطی برای بیان و بررسی "پدیده تاخیر یا بازدارندگی" به سهولت قابلیت کاربرد دارند.

هرگاه رابطه جذبی را بتوان به‌صورت خط مستقیم برروی کاغذ تمام لگارتیمی ترسیم نمود، رابطه "هم‌دمای فروندلیخ[3] " به‌شرح زیر از آن قابل استخراج می‌باشد:

1- Langmuir
2- Freundlich
3- Freundlich Isotherm

$$\log C^* = b.\log C + \log k_f \qquad (۱۲-۵)$$

که آن را به‌صورت زیر نیز می‌توان نوشت:

$$C^* = k_f .C^b \qquad (۱۳-۵)$$

که در آن :

C^* = جرم محلول جذب شده در واحد جرم خاک خشک،

C = غلظت نمک‌های محلول و

k_f و b = ضرایب رابطه می‌باشند.

شیب خط ترسیم شده برروی کاغذ لگارتیمی به‌وسیله حرف (b) در رابطه‌های بالا نشان داده شده است. در نمودار ترسیمی (C^*) در مقابل (C) که شیب آن خطی است، رابطه حاصله نیز خطی می‌باشد و بنابراین مقدار (b) برابر با یک خواهد بود. در این شرایط مشتق (C^*) نسبت به (C) منجر به دست‌یابی به رابطه زیر می‌گردد:

$$\frac{dC^*}{dC} = kd \qquad (۱۴-۵)$$

در این رابطه:

kd = میزان ضریب توزیع یا پراکنش است. با کاربرد این ضریب می‌توان "پیشانی نمک‌های[1]" محلول را ضمن عبور از درون خاک به‌وسیله رابطه زیر به‌دست آورد:

$$\text{فاکتور تأخیر یا بازدارندگی} = ۱ + (\frac{P_b}{\theta})(kd) \qquad (۱۵-۵)$$

در رابطه بالا علایم بکار رفته معانی زیر را دارند:

Pb = جرم مخصوص ظاهری خاک خشک،

θ = رطوبت حجمی خاک و

kd = ضریب پراکنش (توزیع) نمک در خاک است.

هرگاه نمک‌ها واکنش‌گر (واکنش‌پذیر) باشند، ترابری (انتقال) آن‌ها با سرعت کمتری در مقایسه با جریان آب در خاک و یا آب زیرزمینی به‌دلیل فرآیند جذب صورت می‌گیرد. میزان حرکت نمک‌ها را با استفاده از رابطه تأخیر (بازدارندگی) می‌توان به‌شرح زیر ارائه نمود:

1- Solute Front

$$V_e = V_x / [\, 1 + (Pb / \theta) (kd) \,] \qquad (۱۶-۵)$$

در رابطه بالا :

V_x = متوسط سرعت خطی جریان و

V_e = سرعت پیشانه‌ای نمک‌ها، هرگاه غلظت آن‌ها نصف غلظت اولیه باشد (C/C_o = ۰/۵).

نمک‌های موجود در آب خاک دارای تنوع زیادی، مشتمل بر ضرایب توزیع (پراکنش) نمک‌های مختلف می‌باشند، به‌دلایل دارا بودن سطوح ویژه قابل‌ملاحظه و مکان‌های تبادل یونی بسیار زیاد، ذرات رس دارای بیشترین مقادیر (kd) را برای نمک‌های بخصوص و غیرآلی (معدنی) فراهم می‌آورند. کاتیون‌ها در مقایسه با آنیون‌ها به‌صورت قوی‌تر جذب می‌شوند، ضمن این‌که کاتیون‌های دو ظرفیتی با سرعت بیش‌تری در مقایسه با انواع یک ظرفیتی در فرآیند جذب سطحی شرکت می‌نمایند. یون‌هایی از قبیل کلر (Cl) ممکن است به‌صورت ضعیفی جذب و یا به‌صورت غیرجذبی در هنگام عبور از میان رس‌ها باقی بمانند. سدیم (Na) به‌صورت ضعیفی نگهداری می‌گردد، پتاسیم (K)، آمونیم (NH_4)، منگنز (Mn)، سیلیس (Si) و آهن (Fe) بطور متوسط نگهداری و سرب (Pb)، کادمیوم (Cd)، جیوه (Hg) و روی (Zn) می‌توانند به‌شدت به‌وسیله ذرات رس نگه‌داری کردند.

مواد شیمیایی آلی و مصنوعی محلول می‌توانند به‌وسیله کربن آلی در خاک جذب شوند. در تعیین حرکت و بازدارندگی مواد شیمیایی آلی هرگاه از مقادیر جذب ویژه آن‌ها در محلی اطلاعی در دست نباشد، ابتدا می‌باید مورد حلالیت آن‌ها در آب مدنظر قرار گیرد. تمایل نسبی هر ماده آلی برای باقی ماندن به‌صورت محلول در آب، در مقایسه با حالتی که به‌وسیله کربن آلی نگه‌داری می‌گردند مرتبط با ضریب توزیع (تقسیم) آب–اکتانول آن ماده شیمیایی که بیانگر تمایل به محلول شدن آن ماده شیمیایی در آب و اکتانول(n) در زمانی که محلول محتوی هر دو، مورد تکان دادن قرار گیرد، می‌باشد. ضریب توزیع (تقسیم) آب (Koc) را می‌توان از حلالیت آب و یا ضریب توزیع آب–آلتانول برآورد نمود. در جداول کتب مرجع میزان حلالیت و یا ضریب توزیع آب خاک برای انواع مواد شیمیایی آلی که از جمله آلاینده‌های پتانسیل آب‌های زیرزمینی هستند، ارائه شده که قابل دست-یابی و استفاده می‌باشد. مقدار ضریب پراکنش یا توزیع (kd) هر ترکیب آلی در یک خاک بخصوص را می‌توان با سهولت به‌دست آورد زیرا این مقدار به‌طور کاملی از حاصلضرب (kd)

آن ترکیب در درصد کربن آلی موجود در خاک، حاصل می‌گردد و هرگاه خاک از ماسه سلیکاتی خالص تشکیل شده باشد مقدار "بازدارندگی" آن بسیار محدود خواهد بود. به‌عنوان نتیجه‌گیری از موارد و فرآیندهای ادوکسیون، انتشار، پخشیدگی و بازدارندگی، الگویی از توزیع نمک‌ها با دور شدن از منبع آلاینده وجود دارد. هرگاه منشاء آلاینده از انواعی نمک-ها باشد هرکدام دارای "حالت تاخیر مشخص" که به وسیله ضریب (kd) همان نمک و در نتیجه مقدار در پیشانی نمک‌ها وجود خواهد داشت، که شکل نامنظم حاصله می‌تواند بسیار پیچیده باشد.

جدول (۵-۱) ضرایب پخشیدگی (D) کاتیون‌ها و آنیون‌های موجود در آب در ۲۵ درجه سانتی‌گراد

ضریب پخشیدگی (سانتی‌مترمربع‌برثانیه)	کاتیون‌ها		ضریب پخشیدگی (سانتی‌مترمربع‌برثانیه)	آنیون‌ها	
$۹/۳۰\times۱۰^{-۵}$	هیدروژن	H^{+}	$۵/۲۶\times۱۰^{-۵}$	هیدرکسیل	OH^{-}
$۱/۰۳\times۱۰^{-۵}$	لیتوم	Li^{+}	$۱/۴۸\times۱۰^{-۵}$	فلورید	F^{-}
$۱/۳۳\times۱۰^{-۵}$	سدیم	Na^{+}	$۲/۰۳\times۱۰^{-۵}$	کلرید	Cl^{-}
$۱/۹۶\times۱۰^{-۵}$	پتاسیم	K^{+}	$۲/۰۸\times۱۰^{-۵}$	برمید	Br^{-}
$۲/۰۷\times۱۰^{-۵}$	روبیدم	Rb^{+}	$۲/۰۵\times۱۰^{-۵}$	یدید	I^{-}
$۲/۰۶\times۱۰^{-۵}$	سیزیوم	Cs^{+}	$۱/۹۰\times۱۰^{-۵}$	نیترات	$NO3^{-}$
$۱/۶۵\times۱۰^{-۵}$	نقره	Ag^{+}	$۱/۷۲\times۱۰^{-۵}$	کلرات	$ClO3^{-}$
$۰/۷۱\times۱۰^{-۵}$	منیزیم	Mg^{2+}	$۱/۴۹\times۱۰^{-۵}$	برمات	$BrO3^{-}$
$۰/۷۹\times۱۰^{-۵}$	کلسیم	Ca^{2+}	$۱/۰۸\times۱۰^{-۵}$	یدیت	$IO3^{-}$
$۰/۷۹\times۱۰^{-۵}$	استرانیوم	Sr^{2+}	$۱/۴۵\times۱۰^{-۵}$	یدات	$IO4^{-}$
$۰/۸۵\times۱۰^{-۵}$	باریوم	Ba^{2+}	$۱/۱۹\times۱۰^{-۵}$	بیکربنات	$HCO3^{-}$
$۰/۷۲\times۱۰^{-۵}$	مس	Cu^{2+}	$۱/۰۹\times۱۰^{-۵}$	استات	$CH3COO^{-}$
$۰/۷۰\times۱۰^{-۵}$	روی	Zn^{+}	$۱/۰۷\times۱۰^{-۵}$	سولفات	$SO4^{2-}$
$۰/۷۳\times۱۰^{-۵}$	کبالت	Co^{2+}	$۰/۹۹\times۱۰^{-۵}$	کرومات	$Cr2\ O4^{2-}$
$۰/۹۳\times۱۰^{-۵}$	قلع	Pb^{2+}	$۰/۹۲\times۱۰^{-۵}$	کربنات	$C\overset{2-}{O}3$

- برای محاسبه ضریب پخشیدگی در درجه حرارت‌های دیگر کافی است که نسبت $\frac{M_{۲۵}}{Mt}$ که بیان‌گر نسبت لزوجت یا گرانروی آب در حرارت ۲۵ درجه سانتی‌گراد و درجه حرارت (t) می‌باشد ضرب شود.

- برای تعیین ضریب پخشیدگی (D) یک نمک بخصوص از رابطه زیر استفاده می‌گردد :

$$D_{+-} = \frac{[D_+D_-.[Z_+C_+ + Z_-C_-)]}{(D_+Z_+C + D_-Z_-C_-)} \qquad (۱۷-۵)$$

که در آن:

D_{+-} = ضریب پخشیدگی نمک موردنظر است که غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های آن به‌ترتیب C_+ و C_- و ظرفیت آن‌ها به‌صورت قدرمطلق (Z) بیان گردیده است.

۵-۳- وضعیت نمک‌ها در شرایط متحرک و غیرمتحرک بودن ترکیبات

در مباحث قبلی، چنین فرض شده بود که کلیه نمک‌های موجود در خاک دارای حلالیت نسبی زیادی می‌باشند و بدین‌صورت در محلول خاک باقی می‌مانند. در این بخش، شرایطی مورد بحث قرار می‌گیرد که بعضی از نمک‌های موجود در خاک دارای حلالیت کمی می‌باشند و در خاک رسوب می‌نمایند.

به‌طورکلی، نمک‌هایی که در غلظت‌های بسیار زیاد ترسیب می‌نمایند به‌عنوان نمک‌های خیلی محلول (با حلالیت زیاد) منظور می‌گردند و مشتمل بر کلیه کلرورها، سولفات‌های سدیم و منیزیم و بی‌کربنات سدیم می‌باشند. حلالیت این قبیل نمک‌ها در ۲۵ درجه سانتی‌گراد از ۱۰۰ میلی‌اکی والنت در لیتر نیز بیش‌تر است، لیکن بعضی نمک‌ها از قبیل گچ و کربنات کلسیم که غلظت اشباع آن‌ها هرگز به حد غیرقابل تحمل برای رشد و نمو گیاهان نمی‌رسد، به‌عنوان نمک‌های کم محلول به‌شمار می‌آیند.

در ترکیبات پیچیده (مشتمل بر انواع نمک‌ها) که به‌طورمعمول در خاک نیز وجود دارد، حلالیت اکثر نمک‌ها تغییر می‌نماید. همچنین در اختلاط نمک‌ها با یون‌های "غیرمشابه[1] " حلالیت نمک‌های کم محلول افزایش می‌یابد، به‌عنوان‌مثال، حلالیت کربنات کلسیم (آهک) با افزایش غلظت یون‌های غیرمشابه و افزایش فشار گاز کربنیک موجود در خاک فزونی می‌یابد. در شرایط متعارف، حلالیت کربنات کلسیم را می‌توان ۱۰-۵ میلی‌اکی‌والنت‌درلیتر منظور نمود. که معادل هدایت الکتریکی ۰/۸ دسی‌زیمنس‌برمتر (dS/m) در محلول آب خاک است. به‌همین ترتیب، حلالیت سولفات کلسیم (ژیپس) وابسته به حضور نمک‌های دیگر در محیط می‌باشد. به‌عنوان یک "قاعده" در محلولی که محتوی نمک‌هایی با یون‌های معمولی باشد، حلالیت سولفات کلسیم(ژیپس) کاهش می‌یابد (در محلولی که سولفات سدیم و کلرور کلسیم موجود

1- Dissimilar

باشد)، لیکن حلالیت گچ در حضور یون‌های غیرمشابه (بخصوص وجود کلرور سدیم) افزایش حاصل می‌نماید در شرایط عادی حلالیت گچ را باید معادل ۳۰ میلی‌اکی‌والنت‌درلیتر منظور نمود. هرگاه در خاکی گچ موجود باشد، کربنات کلسیم نیز در آن وجود دارد که بدین‌ترتیب غلظت هر دو نمک متذکره به حدود ۴۰ میلی‌اکی‌والنت‌درلیتر می‌رسد که معادل هدایت الکتریکی ۳/۳ دسی‌زیمنس‌برمتر (dS/m) در محلول آب می‌باشد. و هرگاه در خاکی یک و یا دو نمک گفته شده که حلالیت کمی دارند در اثر ترسیب به‌صورت جامد در محیط وجود داشته باشند، پراکنش آن‌ها را می‌توان ثابت فرض نمود و میزان آن برابر با کمیت این نمک‌ها در حالت اشباع است. بنابراین ساده‌ترین روش برای تنظیم رابطه‌های "تعادل و انبارش نمک-ها[1] " آن است که موارد نمک‌های محلول و کم‌محلول را به‌صورت جداگانه منظور نمود.

با فرض همگن بودن خاک و از دیدگاه ماکروسکوپیک، بعضی پژوهشگران رابطه‌هایی را توسعه دادند تا از طریق آن بتوان غلظت نمک‌ها را در عمق بخصوصی از نیمرخ خاک و پس از آبشویی، پیش‌بینی و یا برآورد نمود. در این ارتباط نمک‌ها به دو دسته:

- نمک‌های متحرک[2] ، که با سرعت بیش‌تری هرگاه محلول خاک به‌وسیله آب خالص جایگزینی گردد، پیشروی می‌نمایند و
- نمک‌های غیرمتحرک[3] ، که در محیط متخلخل خاک باقی می‌مانند.

با کاربرد "اصل بقاء جرم" و برای جریان یک بعدی رابطه زیر را می‌توان ارائه داد.

$$-\frac{1}{f}\left(\frac{\partial C}{\partial V}\right)_z = \left(\frac{\partial C}{\partial V}\right)_z - \left(\frac{\partial q}{\partial V}\right)_z \qquad (۱۸-۵)$$

که در آن :

f = کسری از حجم خاک که به‌وسیله آب اشغال می‌گردد، بدون بعد،

q = غلظت نمک‌های غیرمتحرک، میلی‌اکی‌والنت‌درلیتر،

C = غلظت نمک‌های متحرک، میلی‌اکی‌والنت‌درلیتر،

V = حجم آب آبشویی که بر واحد سطح خاک وارد می‌گردد، سانتی‌متر مکعب بر سانتی-مترمکعب و

z = عمق خاک، سانتی‌متر.

1- Equilibrium and Salts Storage Equations
2- Mobile
3- Immobile

با فرض این‌که مقدار نمک‌های متحرک متناسب با غلظت نمک‌های غیرمتحرک در واحد حجم خاک می‌باشند، که در آن مقدار نمک‌های غیرمتحرک در مقایسه با نمک‌های متحرک در آن حجم مقادیر کمتری را شامل می‌گردند، لیکن در هر حال در شرایط تعادلی باقی می‌مانند می‌توان نوشت:

$$-(\frac{dq}{dV}) = \frac{a}{B}(q - B.C) \qquad (۱۹-۵)$$

که در این رابطه :

a = فاکتور متحرک بودن، (cm^{-1})،

B = نسبت بین نمک‌های متحرک و غیرمتحرک (-) و

سایر علائم پیش‌تر تعریف شده‌اند.

حل رابطه‌های بالا با کاربرد پارامترهای S و t به شرح زیر است:

$$\frac{C}{C_\circ} = ۱ - J(S,t) \qquad (۲۰-۵)$$

$$\frac{q}{q_\circ} = J(t,S) \qquad (۲۱-۵)$$

که در آن:

C_o = غلظت اولیه نمک‌های متحرک، میلی‌اکی‌والنت‌درلیتر،

q_o = غلظت اولیه نمک‌های غیرمتحرک، میلی‌اکی‌والنت‌درلیتر و برابر با $B.C_o$ می‌باشد،

S = پارامتر تناسب فضای خالی در عمق معینی از خاک،

t = پارامتر تناسب حجم آب آبشویی و

$J(x,y)$ به شرح زیر تعریف شده است.

$$J(x,y) = ۱ - \int_\circ^x \exp(-y-\xi) I_\circ(۲\sqrt{y\xi})\, d\xi \qquad (۲۲-۵)$$

در رابطه بالا I_o ، "تابع بِسل تعدیل یافته[1] " نوع اول است. از آن‌جا که مقادیر C و q به‌طریق تجربی قابل اندازه‌گیری نمی‌باشند، بهتر آن است که راه‌حل‌ها را به صورت متوسط غلظت ($\overline{C}$) و به شکل زیر ارائه نمود:

1- Modified Bessel Function

$$\overline{C} = C_{\circ}[1 - J(S,t)] + q_{\circ}.J(t,S) \qquad (۲۳-۵)$$

$$\overline{C} = C_{\circ}[1 - J(S,t)] + B.J(t,S) \qquad (۲۴-۵)$$

که در آن :

$\overline{C}$ = غلظت متوسط محلول خاک (میلی‌اکی‌والنت‌درلیتر) ، می‌باشد.

قابل ذکر است که در رابطه‌های بالا، مقادیر $[1 - J(S,t)]$،$[J(t, S)]$ تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای با یکدیگر ندارند و همین‌طور مقدار عددی B، همواره از یک کوچک‌تر است.

بنابراین می‌توان نوشت :

$$\overline{C} \approx C(1 + B)[1 - J(S,t)] \qquad (۲۵-۵)$$

$$\frac{\overline{C}}{C_{\circ}} = [1 - J(S,t)] \qquad (۲۶-۵)$$

هرگاه آب آبیاری خالص نبوده و دارای غلظت نمک‌های محلولی معادل C' باشد رابطه (۵-۲۶) به شکل زیر حاصل می‌گردد:

$$\frac{\overline{C} - C'}{C_{\circ} - C'} = [1 - J(S,t)] \qquad (۲۷-۵)$$

رابطه تحلیلی بالا درخصوص خاک‌های اشباع و غیراشباع می‌تواند کاربرد داشته باشد. بعضی پژوهشگران توافق مناسبی را بین ارقام حاصل از تجربیات آزمایشگاهی و نظریه بیان شده به‌وسیله رابطه‌های ارائه شده گزارش نموده‌اند.

۵-۴- مثال‌هایی از چگونگی محاسبات

- مثال (۱)

هرگاه محاسبه ضریب پخشیدگی نیترات لیتیم (L_iNO_3)موردنظر باشد و غلظت لیتیم (L_i) و نیترات (NO_3) برابر منظور شود با دانستن این مهم که هر دو یک ظرفیتی (کاتیون وآنیون) می‌باشند، با استفاده از جدول (۵-۱) و رابطه (۵-۱۷) به‌صورت زیر عمل می‌گردد:

$$D_{+-} = \frac{[D_+D_-(Z_+C_+ + Z_-C_-)]}{[(D_+Z_+C_+) + (D_-Z_-C_-)]}$$ (۵-۱۷) مکرر

$$D_{+-} = \frac{[۱/۰۳\times۱۰^{-۵}\times۱/۹۰\times۱۰^{-۵}(۱+۱)]}{[(۱/۰۳\times۱۰^{-۵}) + (۱/۹\times۱۰^{-۵})]}$$

$$D_{LiNO_3} = ۱/۳۴\times۱۰^{-۵}$$ سانتی‌مترمربع‌برثانیه

تذکر: راه‌حل گفته شده برای نمک‌های (ترکیبات) با ظرفیت‌های دیگر (کاتیون‌ها یا آنیون‌ها) و نابرابر بودن غلظت اجزاء متشکله نیز می‌تواند کاربرد داشته باشد.

- مثال (۲)

محل خاکچالی[1] که در آن زباله‌های مختلفی مدفون گردیده، دارای میزان تراوشات (نفوذ) محتوی ۷۲۵ میلی‌گرم در لیتر یون کلر (Cl) می‌باشد که سفره آب زیرزمینی را با مشخصات زیر تغذیه می‌نماید.

الف- هدایت هیدرولیکی برابر ۳×۱۰^{-۳} سانتی‌متر در ثانیه (یا ۳×۱۰^{-۵} مترردرثانیه)،

ب - شیب هیدرولیکی مساوی ۰/۰۰۲ (dh/dl=) و

پ - تخلخل مؤثر[2] برابر با ۰/۲۳ (ne=) و

ت - ضریب پخشیدگی مؤثر (D^*)مساوی با ۱×۱۰^{-۹} مترمربع در ثانیه (فرض گردیده).

غلظت یون کلر (Cl) پس از گذشت یک سال (۳۶۵ روز) به فاصله ۱۵ متر (L) از محل نفوذ آلاینده (خاکچال) به آب زیرزمینی، چه مقدار خواهد بود؟

1- Landfill

2- Effective Prosity

حل:

اقدام اول– با استفاده از رابطه (۵–۱) متوسط سرعت خطی جریان باید محاسبه گردد:

$$V_x = \frac{K}{ne}.\frac{dh}{dl} = \frac{K(dh/dl)}{ne}$$

$$V_x = \frac{۳\times۱۰^{-۵}\times۰/۰۰۲}{۰/۲۳} = ۲/۶۱\times۱۰^{-۷}$$ متربرثانیه

اقدام دوم– با کاربرد رابطه (۵–۶) ضریب انتشار طولی محاسبه می‌شود:

$$D_l = A_l.V_x + D^*$$

هرگاه، مقدار A_l برابر با ۰/۱ فاصله (طول) منظور و به‌کار می‌رود.

$$A_l = L\times۰/۱ = ۱۵\times۰/۱ = ۱/۵$$ متر

$$D_l = A_l.V_x + D^* = ۱/۵\times۲/۶۱\times۱۰^{-۷} + ۱\times۱۰^{-۹} = ۳/۹۱\times۱۰^{-۷}$$ مترمربع‌درثانیه

اقدام سوم– در این مرحله باید عامل زمان (t) را به ثانیه تبدیل نماییم.

$$t = ۱\times۳۶۵\times۸۶۴۰۰ = ۳/۱۵\times۱۰^{۷}$$ ثانیه

اقدام چهارم– مقادیر محاسبه شده و عوامل معلوم را در رابطه (۵–۸) قرار می‌دهیم.

$$C = \frac{C_\circ}{۲}\left[\operatorname{erfc}\left(\frac{L - V_x.t}{۲\sqrt{D_l.t}}\right) + \exp\left(\frac{V_x.L}{D_l}\right).\operatorname{erfc}\left(\frac{L + V_x.t}{۲\sqrt{D_l.t}}\right)\right]$$

$$C = \frac{۷۲۵}{۲}\left[\operatorname{erfc}\left(\frac{۱۵ - ۲/۶۱\times۱۰^{-۷}\times۳/۱۵\times۱۰^{۷}}{۲(۳/۹۱\times۱۰^{-۷}\times۳/۱۵\times۱۰^{۷})^{۰/۵}}\right) + \exp\left(\frac{۲/۶۱\times۱۰^{-۷}\times۱۵}{۳/۹۱\times۱۰^{-۷}}\right)\times \operatorname{erfc}\left(\frac{۱۵ + ۲/۶۱\times۱۰^{-۷}\times۳/۱۵\times۱۰^{۷}}{۲(۳/۹۱\times۱۰^{-۷}\times۳/۱۵\times۱۰^{۷})}\right)\right]$$

$$C = ۳۶۲/۵\left[\operatorname{erfc}\left(\frac{۱۵/۰ - ۸/۲۲}{۷/۰۲}\right) + \exp(۱۰/۰۱)\times\operatorname{erfc}\left(\frac{۱۵/۰ + ۸/۲۲}{۷/۰۲}\right)\right]$$

$$C = ۳۶۲/۵[\operatorname{erfc}(۰/۹۶۶) + \exp(۱۰/۰۱)\times\operatorname{erfc}(۳/۳۱)]$$

اقدام پنجم– حال باید با استفاده از روابط (۵–۹) و (۵–۱۰) مقادیر متمم «تابع خطا» مقادیر مربوطه را به‌طور مستقیم و یا به‌وسیله میان‌یابی محاسبه و یا استخراج نمود.

در نتیجه:

$$\text{erfc}(۰/۹۶۶) = ۰/۱۷۲ \qquad \text{erfc}(۳/۳۱) = ۴/۳۷۲\times۱۰^{-۷}$$

$$C = ۳۶۲/۵[۰/۱۷۲ + \exp(۱۰/۰۱)\times۴/۳۷۲\times۱۰^{-۷}]$$

$$C = ۳۶۲/۵[۰/۱۷۲ + ۹/۷۲۶۷۵۴\times۱۰^{-۳}]$$

نظر به این‌که عبارت $(۹/۷۲۶۷۵۴\times۱۰^{-۳})$ بسیار کوچک است می‌توان از آن صرف‌نظر نمود [زیرا (۳/۳۱) erfc رقم بسیار کوچکی می‌باشد]، بنابراین:

$C = ۳۶۲/۵\times۰/۱۷۲ = ۶۲/۳۵$ میلی‌گرم‌درلیتر

– مثال (۳)

یک تانکر (مخزن) ۱۰۰ لیتری دارای آبی محتوی ۱۰۰۰ گرم نمک است، هرگاه میزان جریان آبی برابر با دو لیتر در دقیقه (بدون دارا بودن هیچ‌گونه نمکی) از درون آن عبور نماید.

الف– چه مدت زمانی لازم است تا محتوی نمک تانکر (مخزن) به نصف کاهش یابد.

ب – هرگاه میزان جریان گفته شده تداوم داشته باشد در طولانی مدت چه مقدار نمک در تانکر (مخزن) باقی خواهد ماند.

حل:

رابطه مورد نیاز برای حل این مثال به شرح زیر است: $C = C_{\circ}\, e^{-t/T}$

در این رابطه :

C = غلظت نهایی یا ثانویه نمک در آب تانکر (مخزن)،

$C_{\circ}$ = غلظت اولیه نمک در آب تانکر (مخزن)،

t = زمان،

T = نسبت حجم تانکر (مخزن) بر میزان جریان ورودی (یعنی $T = V \div Q$) و

e = عدد نپر (=۲/۷۱۸) می‌باشد.

بنابراین:

$$T = \frac{V}{Q} = \frac{۱۰۰}{۲} = ۵۰$$ دقیقه

با توجه به شرط «الف» می‌توان نوشت:

$$\frac{C_{\circ}}{۲} = C_{\circ}\, e^{-t/T} \longrightarrow \frac{۱}{۲} = e^{-t/T}$$

$$\log_e ۲ = \frac{t}{۵۰} \longrightarrow ۲/۳\ (۰/۳۰۱۰) = \frac{t}{۵۰}$$

$$t = ۰/۶۹۲۳ \times ۵۰ = ۳۴/۶$$ دقیقه

و برای خواسته بند «ب» می‌توان رابطه زیر را ارائه داد:

$$t = \infty \rightarrow C = C_{\circ}\, e^{-\infty} = \circ$$

در نتیجه ملاحظه می‌گردد که در طولانی مدت هیچ‌گونه نمکی در تانکر (مخزن) باقی نمی‌ماند.

- بعضی منابع برای مطالعه بیشتر

۱- بای‌بوردی، محمد ۱۳۸۵: فیزیک خاک، چاپ هشتم، انتشارات دانشگاه تهران، شماره ۱۶۷۳- تهران.

۲- راهنمای کاربرد مدل‌های تجربی و نظری آبشویی نمکهای خاکهای شور، نشریه شماره ۳۵۹، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، شرکت مدیریت منابع آب ایران، وزارت نیرو، دفتر استانداردها و معیارهای فنی ۱۳۸۵.

۳- عباسی، فریبرز ۱۳۸۶: فیزیک خاک پیشرفته، چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران، شماره ۲۸۷۱- تهران.

۴- علیزاده، امین ۱۳۸۳: فیزیک خاک، چاپ اول، ناشر دانشگاه امام رضا(ع)، انتشارات استان قدس رضوی- مشهد.

5- Bresler, E, McNeal, B.I and Carter, D,L . 1982: Saline and Sodic Soils, Principle, Dynamics, Modeling, Springer-Verlag .Berlin.

6- Fetter, C. W .1994: Applied Hydrogeology, Macmillan Collage Publishing Company, Inc. Third Edirion.

7- Fetter, C.W. and C.W. Jr. Fetter. 1999: Contaminant Hydrogeology Prentice-Hall, Inc, Second Edition.

8- Kirkham, D and W, L. Powers. 1972: Advanced Soil Physics, John Wiley.

9- Ritzma. H.P. 1994: Drainage, Principle and Applications, ILRI Publication, No 16, Second Edition, Wageningen, Netherlands.

فصل ششم: اثرات کیفیت آب‌های مصرفی در عملیات آبیاری بر منابع فیزیکی تولید و محیط‌زیست

۶-۱- مقدمه

در بسیاری از مناطق جهان، میزان بارندگی سالیانه برای مرتفع نمودن نیاز آبی گیاهان زراعی و باغی کافی نیست. بنابراین هرگونه افزایش آب به خاک به وسیله آبیاری و یا از طریق خیز موئینه‌ای از سفره‌های کم‌عمق آب زیرزمینی موجبات افزایش نمک‌های محلول خاک را فراهم می‌آورد. از طرف دیگر هرگاه کاربرد آب آبیاری فقط برای رفع نیاز خالص آبی گیاهان باشد، فرایند شور شدن اراضی[1] به وقوع خواهد پیوست. از آنجایی که نمک‌های سدیم در مقایسه با سایر نمک‌ها از حلالیت (نسبی) بیشتری برخوردار می‌باشند، بنابراین هر میزان افزایش در مجموع نمک‌های محلول خاک موجبات فزونی میزان سدیم قابل تعویض را در همتافت تبادلی خاک فراهم می‌آورد و بدین ترتیب افزایش تدریجی میزان آن، توسعه یا بروز فرآیند سدیمی یا قلیا شدن خاک‌ها[2] را به دنبال خواهد داشت. سرعت فرایند قلیا و سدیمی شدن خاک‌ها، با ترکیب شیمیایی آب آبیاری، کمیّت آب کاربردی و ظرفیت کاتیون‌های تبادلی خاک مرتبط می‌باشد. واضح است که نسبت کاتیون‌های یک ظرفیتی[3] به دو ظرفیتی[4] آب آبیاری حالت یا سرعت اشباع نهائی همتافت تبادلی خاک را تعیین می‌نماید. در نتیجه قابل توجه می‌باشد اگر عنوان شود در مناطق خشک فرآیند شور شدن زمین‌ها همواره به‌طور احتمالی با پدیده سدیمی شدن خاک‌ها همراه خواهد بود.

هرگاه آب آبیاری یا کاربردی محتوی مقادیر قابل‌توجهی کربنات یا بی‌کربنات باشد، به طورمعمول در چنین شرایطی واکنش (pH) آب بیش از هشت خواهد بود و بدین دلیل حلالیت کربنات کلسیم ($CaCO_3$) بسیار ناچیز می‌گردد و در چنین مواقعی واکنش محلول خاک افزایش یافته و فرایند قلیائی شدن[5] اتفاق می‌افتد و می‌توان نتیجه گرفت که فرایند قلیائی شدن خاکها نیز همواره با پدیده سدیمی شدن خاک‌ها به انجام می‌رسد.

1- Salinization
2- Sodication or Alkalization
3- Monovalence
4- Divalence
5- Alkalinization

آب کاربردی در عملیات‌های آبیاری زراعی از نظر مجموع نمک‌های محلول (کمیّت نمک‌ها) دارای تنوع زیادی می‌باشد اگر چه میزان نمک‌های محلول در آبهای مورد مصرف در آبیاری به طور نسبی فوق‌العاده زیاد نیست، لیکن همین مقدار نمک‌های موجود در آنان تأثیرات قابل ملاحظه‌ای را موجب می‌شود. منشاء نمک‌های محلول در آب آبیاری، انحلال و هوادیدگی سنگ‌ها و خاک می‌باشد که شامل انحلال آهک، گچ (ژیپس) و دیگر کانی‌ها (حتی با درجه انحلال کم) می‌باشد که توسط آب تا محل مصرف آن انتقال می‌یابد. درخصوص آبیاری، نمک‌های محلول در آب در اثر اعمال تبخیر و یا مصرف به وسیله گیاه در خاک باقی‌مانده و تراکم می‌یابد.

با توجه به موارد بالا ملاحظه می‌شود که قابلیت استفاده از آب در امر آبیاری نه تنها بستگی به کل میزان نمک‌های محلول دارد، بلکه به نوع نمک‌های محلول آن نیز ارتباط خواهد داشت و در حالت‌هایی که تراکم نمک‌ها در آب آبیاری افزایش یابد مسائل مختلفی در خاک مزرعه و زراعت مربوطه پدیدار می‌شود که در این زمینه برای حصول میزان عملکرد (محصول) قابل قبول، لازم می‌باشد مدیریت‌های ویژه‌ای اعمال گردد. ازاین‌نظر مسئله کیفیت و قابلیت مصرف آب در آبیاری به موارد "پتانسیل شدت" آن مرتبط می‌شود که در درازمدت می‌تواند باعث توسعه مسائل مربوطه گردد.

۶-۲- مروری بر اهمیت آب در کشور

کشور ایران بالغ بر ۱۶۵ میلیون هکتار وسعت دارد و بیش از ۵۰ درصد مساحت کشور کوهستانی است. اختلاف در عرض جغرافیائی، وسعت اراضی، وجود رشته کوه‌های مرتفع البرز و زاگرس و کوه‌های نیمه مرتفع شرقی و مرکزی ایران و همچنین وجود دریای خزر در شمال و خلیج فارس و دریای عمان در جنوب کشور سبب شده است که شرایط اقلیمی نقاط مختلف کشور تفاوت‌های زیادی داشته باشد. سطح وسیعی از اراضی مملکت را اقالیم خشک و نیمه‌خشک تشکیل می‌دهد. به طور کلی در ایران توزیع زمانی ریزش‌های آسمانی غیریکنواخت و به طور عمده بارندگی در فصل زمستان صورت می‌گیرد در حالی‌که معدل میزان بارندگی در کشور پهناورمان فقط ۲۴۰ میلیمتر در سال است. این میزان بارندگی به عبارتی کمتر از یک سوم معدل ریزش‌های آسمانی کرهٔ زمین است. ضمن این‌که میزان تبخیر در ایران به طور نسبی بسیار زیاد است. طبق بررسی‌های انجام شده مسئله خشکی در ایران

معلول سه علت اساسی، عرض جغرافیایی، دوری از دریاها و طرز قرار گرفتن پستی و بلندی‌های خاص این سرزمین است که هر سه عامل موجب تشدید خشکی می‌باشد.
طبق اطلاعات موجود، مجموع ریزش‌های آسمانی کشور برابر با ۴۱۳ میلیارد مترمکعب می‌باشد که نزدیک به ۷۵درصد این مقدار در سطحی معادل ۲۷ درصد مساحت کشور و بقیه در سطحی برابر با ۷۳ درصد باقیمانده ریزش می‌نماید. از کل میزان ریزش‌های آسمانی حدود ۲۹۵ میلیارد مترمکعب آن از طریق تبخیر و تعرّق و بخشی از آن نیز به صورت رواناب‌های سطحی یا جریان‌های زیرزمینی از کشور خارج گردیده و قابلیت دسترسی به آنها مقدور نمی‌باشد. با احتساب ۱۲ میلیارد مترمکعب که به وسیله رودخانه‌های مرزی به کشور وارد می‌شود حجم کل منابع آبهای سطحی کشور به ۱۰۵ میلیارد مترمکعب در سال بالغ می‌گردد (۱۰۵=۹۳+۱۲) و با منظور نمودن ۲۵ میلیارد مترمکعب آبهای زیرزمینی، حجم کل منابع آب تجدیدشونده کشور را باید۱۳۰ میلیارد مترمکعب در سال منظور نمود (۱۳۰=۱۰۵+۲۵). از کل میزان آبهای تجدید شونده کشور حدود۹۰ میلیارد مترمکعب آن به شرح زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد:
بخش کشاورزی ۸۳/۰ میلیارد مترمکعب، مصارف شرب و شهری ۵/۵ میلیارد مترمکعب، بخش صنعت، معدن و سایر مصارف ۱/۵ میلیاردمترمکعب، که درصدهای مربوطه به ترتیب ۹۲/۰، ۶/۰ و حدود ۲/۰ درصد می‌باشد.
با توجه به ارقام بالا ملاحظه می‌گردد که کلان‌ترین بخش مصرف آب در کشور بخش کشاورزی است که به‌دلیل پایین بودن راندمان کاربرد آب در آن (۳۳ درصد) نه تنها بیشترین میزان آب کشور را هدر می‌دهد، بلکه اثرات زیست‌محیطی ناشی از آن مختص به منطقهٔ جغرافیائی خاصی نیست بلکه شمول کشوری دارد.

۶-۳- مبانی ارزیابی کیفیت آبهای مورد مصرف در عملیات آبیاری

مسائل خاص حاصل از کاربرد آبهایی با کیفیت‌های متفاوت بستگی کامل به نوع و درجه مشکل خواهد داشت که در این زمینه عواملی از قبیل جنس خاک، آب و هوا، نوع گیاه و درجه آگاهی مصرف‌کننده‌گان آب در کشاورزی می‌تواند موجبات تعدیل مشکل را فراهم نماید. با توجه به موارد گفته شده ملاحظه می‌گردد که ارائه الگوی خاصی در مورد محدودیت‌های کیفیت آب آبیاری (به‌صورت عام) قابل ارائه نیست بنابراین تناسب کاربرد آب با شرایط مصرف

(که می‌تواند بر روی تغلیظ ترکیب شیمیایی آب و محدودیت‌های تولید گیاهـان مـؤثر باشـد) مرتبط می‌باشد.
به هرحال، مسائلی که در اثر کاربرد در ارتباط با کیفیت آب در خاک اتفاق خواهد افتاد به‌طـور عمده مبنای ارزیابی کیفیت آب آبیاری است و شامل موارد زیر می‌باشد:

- شوری

نمک های موجود در آب خاک موجبات نقصان آب قابل وصول گیاه گردیده به نحوی‌کـه در اثر این عمل کاهش در عملکرد محصول ایجاد می‌گردد.

- سرعت نفوذ آب به خاک

به طور نسبی وجود مقادیر قابل ملاحظه یـون سـدیم (Na^{+}) و یـا مقـادیر نـاچیز یـون کلسـیم (Ca^{2+}) در منابع خاک و آب موجبات کاهش سـرعت نفـوذ و تحـرک آب در خـاک را فـراهم می‌نماید در نتیجه میزان آب مورد مصرف در هر دور آبیاری (تا کاربرد دوباره آب) در خـاک نفـوذ ننموده و ذخیره نخواهد شد و در نهایت تبخیر، موجبات تغلیظ نمک‌ها در سطح خـاک را فـراهم می‌آورد.

- مسمومیت های ویژه یونی

برخی از یون‌ها از قبیل سدیم، کلر و بُر موجود در خاک و یا آب، به‌صورت تراکمی در گیاهـان حساس تولید نوعی مسمومیت نموده و در نتیجهٔ صدمه به گیاه، عملکرد را کاهش خواهند داد.

- موارد متفرقه

مواد مغذی اضافی در آب آبیاری موجب نقصان عملکرد پاره‌ای محصولات و یا نا مرغوب شـدن کیفیت فرآورده‌های تولیدی می‌گردند. به علاوه ترسیب پاره‌ای یـون‌هـا بـر روی میـوه‌هـا و یـا گیاهان علوفه ای موجب کاهش خاصیت بازارپسندی آنها می‌شود. ضـمن ایـن‌کـه معـدودی از یون‌ها موجبات خورندگی وسایل و لوازم آبیاری را فراهم نموده و در نتیجه هزینه‌های نگهـداری و تعمیرات سامانه‌ها را افزایش خواهند داد. آزمایشگاه شوری خاک ایالات متحده در سـال ۱۹۵۴

میلادی راهنمای طبقه بندی کیفیت آب آبیاری را ارائه نمود که به‌عنوان دیاگرام ویلکوکس [1] شناخته شده و موارد کاربرد آن برای سالیان متمادی در کشور متداول بوده است، لیکن در سال‌های اخیر به علت تدوین و انتشار جداول راهنمای تفسیر ارقام کیفیت آب آبیاری کامل و جامع‌تر، در مطالعات و بررسی‌های تخصصی کمتر از آن استفاده می‌گردد. در جدول زیر شکل خلاصه شده راهنمای طبقه‌بندی کیفیت آب آبیاری بر مبنای موارد بیان شده به وسیله آزمایشگاه شوری خاک ایالات متحده ارائه شده است.

جدول (۶-۱): راهنمای طبقه‌بندی کیفیت آب آبیاری
(برمبنای موارد بیان شده در کتابچه شماره ۶۰ آزمایشگاه شوری کشور ایالات متحده آمریکا- ۱۹۵۴)

ردیف	نوع خطر (گزند) طبقه‌بندی	شور شدن Salinization ECw-dS/m	قلیا یا سدیمی شدن Sodification (Alkalization) SAR	قلیایی شدن * Alkalinization RSC
۱	مناسب	< ۰/۲۵ (کم)	< ۷/۰ (کم)	< ۱/۲۵ (کم)
۲	تقریباً مناسب	۰/۲۵-۰/۷۵ (متوسط)	۷/۰-۱۳/۰ (متوسط)	۱/۲۵-۲/۵ (متوسط)
۳	غیرمناسب	۰/۷۵-۲/۳۵ (زیاد)	۱۳/۰-۲۰/۰ (زیاد)	> ۲/۲۵ (زیاد)
۴	غیرمناسب	> ۲/۲۵ (خیلی زیاد)	> ۲۰/۰ (خیلی زیاد)	-

* به‌طور کلی بحث قلیایی شدن خاک‌ها (Alkalinization) به افزایش واکنش (pH) خاک در اثر عملیات آبیاری مربوط می‌شود.

در جدول بالا RSC میزان کربنات سدیم باقی‌مانده [2] می‌باشد که رابطه آن به‌شرح زیر است:

$$RSC = (CO_3^{2-} + HCO_3^-) - (Ca^2 + Mg^{2+}) \qquad (۱-۶)$$

1 - Wilcox
2- Residual Sodium Carbonate

که در آن :کلیه کاتیون‌ها و آنیون‌ها همچنین کربنات سدیم باقی‌مانده بر حسب میلی‌اکی‌والنت در لیتر می‌باشند.

سازمان خواربار و کشاورزی جهانی[1] در سال ۱۹۷۶ میلادی جدول راهنمای تفسیر ارقام کیفیت آب آبیاری را منتشر نمود که با توجه به ارقام و اعداد حاصل از تجزیه شیمیایی نمونه آب امکان تفسیر ارقام کیفیت آب آبیاری را امکان‌پذیر می‌نمود.

در سال ۱۹۸۵ میلادی سازمان مزبور ضمن یک تجدید نظر اساسی و کلی در مندرجات نشریه گفته شده راهنمای جدیدی را ارائه نمود که موارد کاربرد راهنمای قبلی را تا حدی تعدیل نموده است. جدول (۶-۲) راهنمای تفسیر ارقام کیفیت آب آبیاری را بر مبنای موارد عنوان شده به وسیله سازمان خواربار و کشاورزی جهانی (۱۹۸۵) نشان می‌دهد.

[1] - FAO (1976)

جدول (۶-۲): راهنمای تفسیر ارقام کیفیت آب آبیاری (FAO-1985)

مسائل پتانسیل آبیاری	درجه محدودیت‌های کاربردی		
	بدون محدودیت	محدودیت کم تا متوسط	محدودیت شدید
۱- شوری (تأثیر بر روی میزان آب قابل دسترسی برای گیاهان)			
برمبنای EC_W – دسی‌زیمنس بر متر	< ۰/۷	۰/۷-۳/۰	> ۳/۰
بر مبنای TDS – میلی‌گرم در لیتر	< ۴۵۰	۴۵۰-۲۰۰۰	> ۲۰۰۰
۲- نفوذپذیری (تأثیر بر روی سرعت نفوذ آب به خاک، مبنای ارزیابی EC_W و SAR توامان می‌باشد).			
SAR = ۰ – ۳/۰ ◄···= EC_W	> ۰/۷	۰/۷-۰/۲	< ۰/۲
SAR = ۳/۰ - ۶/۰ ◄···= EC_W	> ۱/۲	۱/۲-۰/۳	< ۰/۳
SAR = ۶/۰ -۱۲/۰ ◄···= EC_W	> ۱/۹	۱/۹-۰/۵	< ۰/۵
SAR = ۱۲/۰ -۲۰/۰ ◄···= EC_W	> ۲/۹	۲/۹-۱/۳	< ۱/۳
SAR = ۲۰/۰ -۴۰/۰ ◄···= EC_W	> ۵/۰	۵/۰-۲/۹	< ۲/۹
۳- مسمومیت‌های ویژه یونی (بر روی گیاهان حساس)			
- سدیم (Na^+)، آبیاری سطحی SAR	< ۳/۰	۳/۰-۹/۰	> ۹/۰
- سدیم (Na^+)، آبیاری بارانی (میلی‌اکی‌والنت در لیتر)	< ۳/۰	> ۳/۰	-
- کلر (Cl^-)، آبیاری سطحی- میلی‌اکی‌والنت در لیتر	< ۴/۰	۰۴/۰-۱۰/۰	> ۱۰/۰
- کلر (Cl^-)، آبیاری بارانی- میلی‌اکی‌والنت در لیتر	< ۳/۰	> ۳/۰	-
- بُر (B^+) – میلی‌گرم در لیتر	< ۰/۷	۰/۷-۳/۰	> ۳۰
۴- موارد متفرقه (بر روی گیاهان حساس)			
- نیتروژن (NO_3-N) – میلی‌گرم در لیتر	< ۵/۰	۵/۰-۳۰/۰	> ۳۰
- بیکربنات (HCO_3^-)- منحصراً در مورد آبیاری بارانی- میلی‌اکی‌والنت در لیتر	< ۱/۵	۱/۵-۸/۵	> ۸/۵
- واکنش(pH) حدود نرمال	۶/۵-۸/۴		

نسبت جذب سدیم

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{(Ca+Mg)/2}}$$

درخصوص جدول (۶-۲) لازم است متذکر گردد که :
در جدول راهنمای تفسیر ارقام کیفیت آب آبیاری (FAO-1976) به جای کاربرد نسبت جذب سدیم (SAR) مقدار تعدیل شده آن (adj SAR) استفاده می‌گردید. نسبت جذب سدیم و شکل تعدیل شده آن از روابط زیر محاسبه می‌شود:

$$SAR = \frac{Na^{+}}{\sqrt{(Ca^{++} + Mg^{++})/2}} = Na^{+}\left[0/5\left(Ca^{2+} + Mg^{2+}\right)\right]^{-0/5} \qquad (۶-۲)$$

$$pH_c = \left(pK'_2 - pK'_c\right) + p(Ca + Mg) + p(ALK) \qquad (۶-۳)$$

$$adjSAR = SAR\left[1 + \left(8/4 - pH_c\right)\right] \qquad (۶-۴)$$

در روابط بالا علائم به‌کار رفته دارای معانی زیر است:
SAR: نسبت جذب سدیم بر حسب میلی‌اکی‌والنت در لیتر به‌توان (۰/۵)،
Na^{+}، Ca^{2+} و Mg^{2+}: کاتیون‌های محلول بر حسب میلی‌اکی‌والنت در لیتر،
pHc: واکنش یا اسیدیته نظری آب و
adjSAR: نسبت جذب سدیم تعدیل شده.
که با معین بودن کاتیون‌ها و آنیون‌های حاصل از تجزیه شیمیایی آب آبیاری یعنی کلسیم، منیزیم، سدیم، کربنات و بی‌کربنات (برحسب میلی‌اکی والنت در لیتر) و استفاده از جداول مندرج در مراجع مربوطه امکان محاسبه واکنش نظری (pHc) و در نهایت محاسبه میزان نسبت جذب سدیم تعدیل شده موضوع رابطه (۶-۴) امکان‌پذیر است.
به‌طورکلی هرچه میزان واکنش نظری (pHc) در آب آبیاری افزایش یابد مقدار رسوب کربنات کلسیم در محلول خاک کاهش خواهد یافت به‌طوری که اگر $pHc>8.4$ باشد کربنات‌ها به طور اصولی رسوب نخواهند نمود لیکن در شرایطی که $pHc<8.4$ باشد مقداری از کربنات‌ها در محلول خاک ترسیب می‌نماید. در نتیجه نسبت جذب سدیم نهایی محلول خاک [که آن را با درصد سدیم تبادلی خاک (ESP) برابر فرض می‌نمایند] برابر با نسبت جذب سدیم آب آبیاری نخواهد بود. به بیان دیگر نمی‌توان با محاسبه نسبت جذب سدیم آب آبیاری، درصد سدیم تبادلی خاک را محاسبه نمود. در این شرایط لازم است که نسبت جذب سدیم آب آبیاری را با توجه به مقدار واکنش نظری (pHc) تعدیل نمود.

در زمینه استفاده از جدول (۶-۲) می‌توان بـه طـور مسـتقیم از میـزان نسـبت جـذب سـدیم محاسبه شده (SAR) و یا نسبت تعدیل شده آن که از رابطه زیر قابل محاسبه است (در سال ۱۹۸۵ توصیه شده است) استفاده نمود.

$$\mathrm{Adj\,R_{Na}} = \frac{\mathrm{Na}}{\sqrt{(\mathrm{Ca_x} + \mathrm{Mg})/۲}} \qquad (۶-۵)$$

که در رابطه بالا علائم به‌کار رفته دارای معانی زیر است:

$\mathrm{AdjR_{Na}}$: نسبت جذب سدیم تعدیل شده،

$\mathrm{Ca_x}$: حالت تعدیل شده میزان کلسیم برحسب میلی‌اکی‌والنت در لیتر و

$\mathrm{Na, Mg}$: معانی و ابعاد پیش گفته را دارند.

تذکر: $\mathrm{Ca_x}$، معرف میزان کلسیم آب کاربردی که در ارتباط با میزان شوری آب (EC_W) و نسبت HCO_3/Ca مربوطه می‌باشد (که مقادیر اخیر نیز برحسب میلـی‌اکـی‌والنـت در لیتـر می‌باشند) این تعدیل در حالی انجام گرفته که فشار جزئی گاز کربنیـک در چنـد میلـی‌متـری سطح خاک معادل۰.۰۰۰۷ اتمسفر منظور گردیده است. به‌منظور سـهولت در محاسـبه مقـدار $\mathrm{Ca_x}$ با معلوم بودن (EC_W) و نسبت HCO_3/Ca مربوطه جدول (۶-۳) ارائه شده است.

جدول (۶-۳): تراکم میزان کلسیم $\mathbf{Ca_x}$ که انتظار می‌رود در آب -خاک لایه سطحی با کاربرد آب آبیاری به نسبت $\mathbf{HCO_3/Ca}$ و $\mathbf{EC_w}$ مشخص باقی بماند

HCO_3/Ca	شوری آب آبیاری (dS/m)												
		۰.۱	۰.۲	۰.۳	۰.۵	۰.۷	۱.۰	۱.۵	۲.۰	۳.۰	۴.۰	۶.۰	۸.۰
	۰.۵	۱۳.۲۰	۱۳.۶۰	۱۳.۹۰	۱۴.۴۰	۱۴.۸۰	۱۵.۳۰	۱۵.۹۱	۱۶.۴۳	۱۷.۲۸	۱۷.۹۷	۱۹.۰۷	۱۹.۹۳
	۰.۱	۸.۳۱	۸.۵۸	۸.۷۷	۹.۰۷	۹.۳۱	۹.۶۲	۱۰.۰۲	۱۹.۳۵	۱۰.۸۹	۱۱.۳۲	۱۲.۰۱	۱۲.۵۶
	۰.۱۵	۶.۳۴	۶.۵۴	۶.۶۹	۶.۹۲	۷.۱۱	۷.۳۴	۷.۶۵	۷.۹۰	۸.۳۱	۸.۶۴	۹.۱۷	۹.۵۸
	۰.۲	۵.۲۴	۵.۴۰	۵.۵۲	۵.۷۱	۵.۸۷	۶.۰۶	۶.۳۱	۶.۵۲	۶.۸۶	۷.۱۳	۷.۵۷	۷.۹۱
	۰.۲۵	۴.۵۱	۴.۶۵	۴.۷۶	۴.۹۲	۵.۰۶	۵.۲۲	۵.۴۴	۵.۶۲	۵.۹۱	۶.۱۵	۶.۵۲	۶.۸۲

ادامه جدول (۶-۳): تراکم میزان کلسیم Ca_x که انتظار می‌رود در آب -خاک لایه سطحی با کاربرد آب آبیاری به نسبت HCO_3/Ca و EC_w مشخص باقی بماند

HCO_3/Ca	شوری آب آبیاری (dS/m)												
		۰.۱	۰.۲	۰.۳	۰.۵	۰.۷	۱.۰	۱.۵	۲.۰	۳.۰	۴.۰	۶.۰	۸.۰
۰.۳	۴.۰۰	۴.۱۲	۴.۲۱	۴.۳۶	۴.۴۸	۴.۶۲	۴.۸۲	۴.۹۸	۵.۲۴	۵.۴۳	۵.۷۷	۶.۰۴	
۰.۳۵	۳.۶۱	۳.۷۲	۳.۸۰	۳.۹۴	۴.۰۴	۴.۱۷	۴.۳۵	۴.۴۹	۴.۷۲	۴.۹۱	۵.۲۱	۵.۴۵	
۰.۴	۳.۳۰	۳.۴۰	۴.۴۸	۳.۶۰	۳.۷۰	۳.۸۲	۳.۹۸	۴.۱۱	۴.۳۲	۴.۴۹	۴.۷۷	۴.۹۸	
۰.۴۵	۳.۰۵	۳.۱۴	۳.۲۲	۳.۳۳	۳.۴۲	۳.۵۳	۳.۶۸	۳.۸۰	۴.۰۰	۴.۱۵	۴.۴۱	۴.۶۱	
۰.۵	۲.۸۴	۲.۹۳	۳.۰۰	۳.۱۰	۳.۱۹	۳.۲۹	۳.۴۳	۳.۵۴	۳.۷۲	۳.۸۷	۴.۱۱	۴.۳۰	
۰.۷۵	۲.۱۷	۲.۲۴	۲.۲۹	۲.۳۷	۲.۴۳	۲.۵۱	۲.۶۲	۲.۷۰	۲.۸۴	۲.۹۵	۳.۱۴	۳.۲۸	
۱.۰۰	۱.۷۹	۱.۸۵	۱.۸۹	۱.۹۶	۲.۰۱	۲.۰۹	۲.۱۶	۲.۲۳	۲.۳۵	۲.۴۴	۲.۵۹	۲.۷۱	
۱.۲۵	۱.۵۴	۱.۵۹	۱.۶۳	۱.۶۸	۱.۷۳	۱.۷۸	۱.۸۶	۱.۹۲	۲.۰۲	۲.۱۰	۲.۲۳	۲.۳۳	
۱.۵	۱.۳۷	۱.۴۱	۱.۴۴	۱.۴۹	۱.۵۳	۱.۵۸	۱.۶۵	۱.۷۰	۱.۷۹	۱.۸۶	۱.۹۷	۲.۰۷	
۱.۷۵	۱.۲۳	۱.۲۷	۱.۳۰	۱.۳۵	۱.۳۸	۱.۴۳	۱.۴۹	۱.۵۴	۱.۶۲	۱.۶۸	۱.۷۸	۱.۹۶	
۲.۰۰	۱.۱۳	۱.۱۶	۱.۱۹	۱.۲۳	۱.۲۶	۱.۳۱	۱.۳۶	۱.۴۰	۱.۴۸	۱.۵۴	۱.۶۳	۱.۷۰	
۲.۲۵	۱.۰۴	۱.۰۸	۱.۱۰	۱.۱۴	۱.۱۷	۱.۲۱	۱.۲۶	۱.۳۰	۱.۳۷	۱.۴۲	۱.۵۱	۱.۵۸	
۲.۵	۰.۹۷	۱.۰۰	۱.۰۲	۱.۰۶	۱.۰۹	۱.۱۲	۱.۱۷	۱.۲۱	۱.۲۷	۱.۳۲	۱.۴۰	۱.۴۷	
۳.۰۰	۰.۸۵	۰.۸۹	۰.۹۱	۰.۹۴	۰.۹۶	۱.۰۰	۱.۰۴	۱.۰۷	۱.۱۳	۱.۱۷	۱.۲۴	۱.۳۰	
۳.۵	۰.۷۸	۰.۸۰	۰.۸۲	۰.۸۵	۰.۸۷	۰.۹۰	۰.۹۴	۰.۹۷	۱.۰۲	۱.۰۶	۱.۱۲	۱.۱۷	
۴.۰۰	۰.۷۱	۰.۷۳	۰.۷۵	۰.۷۸	۰.۸۰	۰.۸۲	۰.۸۶	۰.۸۸	۰.۹۳	۰.۹۷	۱.۰۳	۱.۰۷	
۴.۵	۰.۶۶	۰.۶۸	۰.۶۹	۰.۷۲	۰.۷۴	۰.۷۶	۰.۷۹	۰.۸۲	۰.۸۶	۰.۹۰	۰.۹۵	۰.۹۹	
۵.۰۰	۰.۶۱	۰.۶۳	۰.۶۵	۰.۶۷	۰.۶۹	۰.۷۱	۰.۷۴	۰.۷۶	۰.۸۰	۰.۸۳	۰.۸۸	۰.۹۳	
۷.۰۰	۰.۴۹	۰.۵۰	۰.۵۲	۰.۵۳	۰.۵۵	۰.۵۷	۰.۵۹	۰.۶۱	۰.۶۴	۰.۶۷	۰.۷۱	۰.۷۴	
۱۰.۰۰	۰.۳۹	۰.۴۰	۰.۴۱	۰.۴۲	۰.۴۳	۰.۴۵	۰.۴۷	۰.۴۸	۰.۵۱	۰.۵۳	۰.۵۶	۰.۵۸	
۲۰.۰۰	۰.۲۴	۰.۲۵	۰.۲۶	۰.۲۶	۰.۲۷	۰.۲۸	۰.۲۹	۰.۳۰	۰.۳۲	۰.۳۳	۰.۳۵	۰.۳۷	
۳۰.۰۰	۰.۱۸	۰.۱۹	۰.۲۰	۰.۲۰	۰.۲۱	۰.۲۱	۰.۲۲	۰.۲۳	۰.۲۴	۰.۲۵	۰.۲۷	۰.۲۸	

۱) در مورد جدول فوق مفروضات زیر به‌کار رفته است:

- منشاء کلسیم، کربنات کلسیم یا سلیکات‌های خاک می‌باشند.
- ترسیب منزیم اتفاق نمی‌افتد و فشار جزئی گاز CO_2 معادل ۰/۰۰۰۷ اتمسفر نزدیکی سطح خاک می‌باشد.

۲) HCO_3، Ca_x و Ca برحسب میلی‌اکی‌والنت در لیتر است.

به منظور بررسی تغییرات عوامل گفته شده در زیر به ذکر یک مثال کاربردی پرداخته می‌گردد.

مثال:

هرگاه شوری یا هدایت الکتریکی آب مورد نظر برای آبیاری برابر با ۱/۵ دسی‌زیمنس‌بر متـر و ترکیب یون‌های محلول و مورد نظر در آن به‌صورت زیر باشد:

CO_3 = ۰/۴۲	Ca=۲/۳۲
HCO_3 = ۳/۶۶	Mg=۱/۴۴
مجموع = ۴/۰۸	Na= ۷/۷۳
	مجموع = ۱۱/۴۹

نکته : مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌ها و مجموع آنها برحسب میلی‌اکی‌والنت در لیتر می‌باشند.

حال با استفاده از جداول مرجع و کـاربرد ارقـام مربوطـه و رابطـه (۶-۳)، نتـایج زیـر حاصـل می‌گردد.

$$pK_2' - pK_c' = ۲/۳$$
$$p(Ca + Mg) = ۲/۷$$
$$p(Alk) = ۲/۴$$
$$pHc = ۷/۴$$

همان‌طوری که ملاحظه می‌گردد مقدار واکنش نظری (pHc) آب مـوردنظـر از ۸/۴ کمتـر است و این نمایانگر تمایل رسوب آهک از طریق کاربرد آب می‌باشد.

سپس با کاربرد رابطه (۶-۲) مقدار نسبت جذب سدیم $SAR = ۵/۶۴$ حاصل مـی‌گـردد. بـا جایگزینی مقادیر محاسبه شده در رابطه (۶-۴) مقدار $adjSAR = ۱۱/۶۴$ برآورد می‌شود که به طور تقریبی دو برابر مقدار نسبت جذب سدیم (معمولی) آب کاربردی است.

اینـک بـا اسـتفاده از ارقـام بیـان شـده و اسـتفاده از جـدول (۶-۳) و اعمـال میـان‌یـابی $Ca_x = ۰/۵۷$ حاصـل مـی‌گـردد، بـا جـایگزینی رقـم اخیـر در رابطـه (۶-۵) مقـدار $AdjR_{Na} = ۷/۷$ برآورد می‌شود. که به رقم ۵/۶۴ نزدیک‌تر است.

۶-۴- اثرات کیفیت آب بر محیطزیست

عوامل چندی از جمله کمیّت و کیفیت منابع آب در احیـاء، نگهـداری و در نتیجـه توسـعهٔ فعالیت‌های اقتصادی به‌خصوص کشاورزی هر منطقـه مؤثرنـد. ضـمن آن‌کـه نـوع و درجـه پیشرفته بودن فعالیت‌های اقتصادی هر منطقه نیز بر روی منابع آب اثراتی دارد. تا آنجایی کـه هرگاه عامل آب را در بخش‌های کلان مصرف مورد نظر قرار دهیم، اثرات آلـوده‌کننـدگی آب کاربردی قابل ملاحظه خواهد بود. و بر این مبناء به عنوان مثـال در بخـش کشـاورزی، آب را باید به عنوان یک عامل آلوده‌کنندهٔ محیطزیست که کنترل اثرات آن لازم است، مد نظر قـرار داد. زیرا با توجه به نوع کاربرد آب در این بخش کلان مصرف، مواد آلـوده‌کننـده‌ای از قبیـل: فضولات دامی، مواد شیمیایی (کود، داروهای حشره‌کش و سایر مـواد شـیمیایی)، نمـک‌هـای محلول، رسوبات حاصل از هرزآبهای سطحی، تراوشات کانال‌های آبیاری و آبرسانی می‌تواننـد به آن وارد و ضمن تخلیه به جریان آبهای سـطحی، دریاچـه‌هـا، ذخـایر آبـی و یـا منـابع آب زیرزمینی را به‌نحوی آلوده سازد. موارد بیان شده در بـالا، همگـی در ارتبـاط بـا فعالیـت‌هـای کشاورزی و آبیاری است که با اعمال مدیریت می‌توان اثرات سوء آن را تعدیل و یا به حـداقل ممکن کاهش داد.

به طورکلی در هر منطقه، علاوه بر بخش کشاورزی، واحدهای مصرفی دیگری نیز وجود دارد که هر کدام متقاضی میزان آبی با کیفیت مشخص می‌باشند. به عنوان مثـال: بـرای مصـارف خانگی آب **سبک** با خاصیت پاک‌کنندگی زیاد (از نظر میزان سدیم) موردنیاز است، در حالی- که به عکس برای آبیاری (در بیشتر اوقات) آب **سنگین**، حاوی کلسیم ترجیح داده می‌شـود. موارد مصرف مفید آب را می‌توان در یک سامانه کامل به‌شرح زیر طبقه‌بندی نمود:

الف–مصارف کشاروزی، دامداری و طیور.

ب –مصارف شهری و خانگی.

پ –مصارف صنایع (کوچک، متوسط و سنگین).

ت– مصارف تفریحی و تفرّجی.

ث– مصارف نیاز آبزیان و حیات وحش منطقه.

شاید از نظر اهمیت نیاز، بین هیچکدام از موارد فوق نتوان تفاوتی قائل شد. آنچه بیشتر مربوط به نیاز «فون طبیعی» منطقه می‌گردد مسئله کیفیت آب در ارتباط با نیاز آبزیان و حیات وحش

است که در این خصوص مشخصه‌های ویژه‌ای، در ارتباط با درجه حرارت، میزان اکسیژن محلول، تراکم نمک‌ها و مقدار آلودگی حاصل از مواد شیمیائی (حشره‌کش‌ها، قارچ‌کش‌ها، هورمون‌ها و سایر سموم و آلودگی فلزات سنگین در حد آب قابل شرب و یا معیارهای کیفیت آب بخش‌های کشاورزی و صنعت) موردنظر است، به همین ترتیب توقعات سایر بخش‌های مصرف‌کنندهٔ آب نیز مبتنی بر حدود مطلوب معیارهایی است. بنابراین ارائه ضوابط خاص که بتواند برآوردکنندهٔ کلیهٔ موارد کیفی و کمّی مشخصه‌های بیان شده باشد شاید به سادگی مقدور نگردد.

با توجه به موارد گفته شده، آنچه می‌تواند نتیجهٔ مطلوب‌تری را عاید نماید، هما نا سعی در عدم آلوده‌سازی محیط و ضرورت برنامه‌ریزی و آینده‌نگری در حفظ و سالم نگهداری منابع طبیعی محیط‌زیست از جمله منابع فیزیکی(خاک وآب) است.

۶-۵- امکانات کاربرد پس‌آب فاضلاب‌ها

در صورت اعمال دقت مناسب و در نظر گرفتن اثرات تجمعی و طولانی مدت کاربرد پس‌آب فاضلاب‌ها از نظر کل میزان آب مصرفی، افزایش نمک‌ها، مواد غذایی و عناصر کمیاب در خاک، می‌توان آنها را به‌عنوان منابع آب مطمئن و پر ارزش در کشاورزی به‌کار برد. جالب توجه این است که کاربرد آن نه تنها از نظر آبیاری تمام فصلی و یا آبیاری تکمیلی زراعی می‌تواند مؤثر باشد، بلکه پس‌آب فاضلاب‌ها از نظر میزان مواد غذایی موردنیاز گیاهان (عناصر اصلی و کم مصرف) غنی و با ارزش می‌باشد. آنچه در این مقاله «پس‌آب» خوانده می‌شود، در واقع آب صاف و از نظر بیوشیمیایی پایداریست که پس از اعمال تصفیه‌های مقدماتی (جداسازی مواد جامد از مایع) و ثانویه (جداسازی، هوادهی، هضم و جذب و بالاخره تخلیهٔ آب صاف و پایدار) از طریق روش‌های معمولی قابل کاربرد باشد، به‌طورکلی روش‌های دفع و یا تصفیه فاضلاب‌های صنعتی، شهری و یا روستایی را می‌توان به انواع اصلی زیر تقسیم‌بندی نمود:

– روش‌هایی که اصول آن مبتنی بر استفاده از فعل و انفعالات و عملیات بیوشیمیایی و بیولوژیکی است.

– روش‌هایی که تصفیه و سالم‌سازی را به وسیلهٔ عملیات شیمیائی و یا فیزیکی بر روی مواد مقدور می‌نماید.

در حال حاضر اطلاعات اولیه‌ای که مجوز کاربرد پس‌آب فاضلاب‌ها در بخش کشاورزی باشد، وجود دارد. لیکن در این ارتباط لازمست ملاحظاتی از قبیل کیفیت آب، نوع خاک یا عوامل محیطی نیز در هر مورد بررسی و لحاظ گردد. علاوه بر آن اعمال مدیریت آگاهانه و صحیح در کاربرد پس‌آب فاضلاب‌ها لازمست تا از بروز مسائلی از قبیل اشاعه بیماری، ایجاد آلودگی، تولید محل‌های متعفن، وقوع مسمومیت پاره‌ای عناصر (فلزات سنگین) جلوگیری نموده و مسائل بهداشتی و محیطی را در منطقه مورد عمل، تسهیل و تشدید نماید.

بدین‌ترتیب، ملاحظه می‌گردد که کاربرد پس‌آب فاصلاب‌ها در مقایسه با آب معمولی احتیاج به اعمال مدیریت دقیق‌تر از نظر بهداشتی و محیطی دارد و با رعایت ملاحظات خاص از نظر سلامت انسان‌ها و حفظ بهداشت محیطزیست، مانعی در کاربرد صحیح پس‌آب فاضلاب‌ها در بخش کشاورزی وجود ندارد.

لیکن در صورتی که فاضلاب‌ها به‌صورت تصفیه نشده دفع گردد، ضایعات و خسارات ناشی از آن بر محیطزیست تقریباً غیرقابل جبران خواهد بود. و چنانچه به حکم مقررات، فاضلاب‌ها تصفیه شده (در حد تصفیه مقدماتی و ثانویه) و با کیفیت قابل قبول تخلیه گردد، نتیجه کار از نظر اقتصادی به دلیل عدم استفاده از آب، معقول نخواهد بود.

اگر چه با توجه به تنوع منشاء فاضلاب‌ها و امکانات مصرف آن ذکر استانداردهای عمومی خاصی مقدور نیست و لازمست در این زمینه در هر موردی معیارهای ویژه‌ای مورد عمل قرار گیرد، لیکن در این بخش به استناد منابع معتبر، موجود و تجربیات چندی که در این زمینه در دسترسی بوده است موارد به‌شرح زیر بحث می‌گردد.

- ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی

فیزیکی

معیارهای فیزیکی سنجش امکانات کاربرد پس‌آب فاضلاب‌ها به‌شرح زیر است:

مجموع اجسام معلق: شامل اجسام معلق، شناور و مواد آلی (معلق) موجود در آب می‌باشد. کاربرد پس‌آبهای حاوی مقادیر زیاد اجسام معلق در امر آبیاری زمین‌ها موجبات گرفتگی خلل و فرج خاک گردیده و با احتمال در روی سطح خاک ایجاد قشر رسوبی خواهد نمود. که اثر توام آنها موجب کاهش نفوذ آب و ایجاد اختلال در تهویه خاک خواهد شد. شدت این مسئله بستگی به میزان مواد آلی موجود در پس‌آب فاضلاب‌ها و کیفیت تصفیه آن قبل از کاربرد

دارد. پس‌آبهائی که عملیات تصفیه ثانویه بر روی آن انجام گرفته شده باشد تا حدی حاوی میزان ناچیزی از مواد معلق می‌باشد. مشکل کاهش احتمالی نفوذپذیری خاک را می‌توان با اجرای تناوب صحیح آبیاری از طریق خشک و مرطوب شدن متناوب سطح خاک تعدیل نمود. ضمن آنکه در صورت اعمال مدیریت زراعی صحیح می‌توان با ایجاد شرایط تخمیر غیرهوازی، مواد آلی اضافه شده به خاک را در تقویت و اصلاح فیزیکی خاک‌ها به‌کار گرفت.
پس‌آب فاضلاب‌ها نباید حاوی ذراتی بزرگتر از ۰/۲۳ میلی‌متر باشد و حد مجاز بار مجموع اجسام معلق در آن ۴۰۰ قسمت در میلیون تعیین شده است.

رنگ: در امر آبیاری زراعت‌ها مسئله رنگ پس‌آب فاضلاب‌ها اثری ندارد، لیکن از نوع رنگ و شدت آن می‌توان به عنوان معیاری در برآورد میزان مواد آلی موجود در پس‌آب استفاده نمود.

درجه حرارت: پس‌آب فاضلاب‌ها به‌طور معمول دارای درجه حرارت نرمال می‌باشند به‌هرحال، درجه حرارت آن به فاصلهٔ ۲۰–۱۵ متر از محل تخلیه نباید بیش از ۲۷ درجه سانتی‌گراد باشد.

بو: وجود بو، در پس‌آب فاضلاب‌ها ناشی از عدم اجرای عملیات هوادهی کامل و یا متأثر از تخمیر غیرهوازی مواد آلی است درصورتی‌که عملیات تصفیه ثانویه به روی فاضلاب‌ها انجام گرفته باشد، بوی پس‌آب فاضلاب‌ها زیاد نخواهد بود. کاربرد فاضلاب‌های با بوی تند و متعفن اجرای عملیات کاربری آن را دشوار نموده و موجبات ایجاد مسائل بهداشتی در محل می‌گردد و در آن صورت منطقه کاربرد آن محدود خواهد بود.

شیمیایی

به طور کلی ویژگی‌های شیمیایی پس‌آب فاضلاب‌ها بستگی به نوع منبع، مشخصات سامانه فاضلاب و سرانجام چگونگی تصفیه و تخلیه آن دارد. به علت اهمیّت ویژه مشخصات شیمیایی آب از نظر کاربرد در کشاورزی، ضرورت دارد که مشخصات شیمیایی پس‌آب فاضلاب‌ها قبل از مصرف به طور دقیق بررسی گردد. در این قسمت ویژگی‌های شیمیایی لازم در کاربرد مستقیم پس‌آب فاضلاب‌ها برای آبیاری ذکر می‌گردد و از بیان امکانات کاربرد پس‌آب فاضلاب‌ها در صنایع کشاورزی به‌علت ضرورت اختصار کلام، خودداری می‌شود.
بررسی کیفیت شیمیائی آب (آبیاری) به‌طور کلی بر مبنای موارد زیر است:

الف– غلظت یا تراکم نمک‌های محلول آب که از طریق فشار اسمزی بر روی میزان عملکرد محصول اثر می‌نماید،

ب – تراکم یا غلظت یون بخصوص که امکان دارد در گیاه تولید نوعی مسمومیت نموده و یا کیفیت محصول را نا مرغوب نماید و سرانجام،

پ – نسبت بین میزان کاتیون‌های موجود در آب که ممکن است موجبات گسیختگی خاکدانه را فراهم آورده، ساختمان خاک را تخریب نموده و در نتیجه آن نفوذپذیری خاک را کاهش دهد.

به طور اصولی کاربرد معیارهای ثابتی در طبقه‌بندی کیفیت آب‌ها مطلوب نیست (در کشاورزی) زیرا لازمهٔ ارزیابی اثر کیفیت آب در تولید منظور نمودن فاکتورهایی از قبیل نوع محصول، تیپ خاک، شرایط زهکشی مزرعه و در نهایت در نظر گرفتن شرایط اقلیمی محل می‌باشد و بر این مبنا ممکن است آبی با کیفیت مشخص در یک محل نامناسب و در شرایط محل دیگری قابل استفاده در آبیاری باشد. به‌علاوه پیشرفت قابل ملاحظه علوم زراعی و کاربرد فناوری‌های نوین در امورکشاورزی و آبیاری کاربرد حتی آب شور و لب‌شور را نیز تحت شرایطی فراهم آورده است.

بیولوژیکی

ویژگی‌های سنجش کیفیت بیولوژیکی پس‌آب فاضلاب‌ها مربوط به وجود باکتری‌ها، ویروس‌ها و سایر عوامل بیماری‌زا می‌باشد، فاضلاب‌های تصفیه نشده حاوی مقادیر و انواع گوناگون میکروارگانیسم‌ها ست که بعضی از آنها بیماری‌زا (پاتوژنیک[1]) می‌باشد. درجهٔ تصفیه و سالم‌سازی فاضلاب‌ها از نظر بیولوژیکی به نوع، روش تصفیه و دفع مواد زائد بستگی دارد. موارد اخیر، خود تابعی از معیارهای بنیان شده بهداشت محیط و نوع مصرف پس‌آب فاضلاب‌ها می‌باشد. به‌هرحال تعیین مشخصه‌های ویژه بیولوژیکی پس‌آب فاضلاب‌ها به عهدهٔ ارگان‌های مسئول امور بهداشت و محیط‌زیست می‌باشد.

جدول (۶–۴) راهنمای تفسیر کیفیت میکروبیولوژیکی فاضلاب‌ها را برای مصرف در بخش کشاورزی نشان می‌دهد.

1- Pathogenic

جدول (۶-۴): راهنمای تفسیر کیفیت میکروبیولوژیکی فاضلاب‌ها برای مصرف در بخش کشاورزی (WHO-1989)(a)

طبقه‌بندی	شرایط مصرف مجدد پس‌آب فاضلاب‌ها	گروه‌هایی که در معرض اثرات قرار دارند	انگل‌های روده‌ای (b) (میانگین حسابی تعداد تخم انگل در لیتر) (c)	انگل‌های کلی فرم‌های مدفوع (میانگین حسابی تعداد در میلی‌لیتر) (c)	عملیات لازم به اجرا، بر روی فاضلاب‌ها به‌منظور حصول کیفیت میکروبیولوژیکی قابل قبول
A	آبیاری گیاهانی که بدون پخت، ممکن است مصرف‌شوند، آبیاری زمین‌های ورزشی و پارک‌های عمومی	کارگران، مصرف‌کنندگان و دیگر افراد	≤ ۱	≤ ۱۰۰۰	برای دستیابی به کیفیت میکروبیولوژیکی مطلوب طراحی یک سری برگه‌های تثبیت و یا اقدامات مشابه لازم است.
B	آبیاری غلات، نباتات صنعتی، علوفه، مراتع و درختان (d)	کارگران	≤ ۱	استانداری توصیه نگردیده	نگهداری در برگه‌های تثبیت به مدت ۱۰-۸ روز و یا انجام اقدامات خاص جهت دفع کرم‌های روده‌ای و کلی فرم‌های مدفوع
C	آبیاری موضعی گیاهان مندرج در (B) مشروط بر آن- که کارگران و افراد عادی در معرض آن نباشند.	هیچکدام	قابلیت کاربرد ندارد	قابلیت کاربرد ندارد	تصفیه مقدماتی در حد نیاز تکنولوژیکی آبیاری مشروط به آن‌که این اقدام از حد عملیات ترسیب مواد جامد و معلق کمتر نباشد.

(a) – در شرایط بخصوص، اپیدمی‌های محلی، فرهنگ اجتماعی و اثرات محیطی باید مورد توجه قرار گرفته و راهنمای فوق در این ارتباط تجدیدنظر و مورد تعدیل قرار گیرد.

(b) - گونه‌های اسکاریس، تریکوریس، و کرم‌های قلابدار.

(c) - طی دورهٔ آبیاری.

(d) - در خصوص درختان میوه ، دو هفته قبل از برداشت محصول آبیاری باید قطع گردد و هیچ‌گونه میوه‌ای از روی سطح زمین برداشت نشود. از انجام امر آبیاری با روش بارانی باید به‌طور جدی خودداری شود.

۶-۶- تدابیر لازم برای کاربرد آبهای حاصل از تصفیه فاضلاب‌ها

با وجودی که فاضلاب‌های شهری و صنعتی (بطو رعمده) و لجن‌های حاصل از تصفیه فاضلاب‌ها دارای مواد آلوده‌کننده متنوعی می‌باشند که موارد استفاده از آنها را با مشکلاتی

مواجه نموده است لیکن متخصصین را عقیده بر آنست که کاربرد آبهای آلوده دارای مزیت‌های زیر است:

– استفاده از پس‌آب و فاضلاب‌ها (بجز مورد شرب) به مقدار قابل ملاحظه‌ای از محدودیت منابع آب موجود خواهد کاست و این در حالی است که موجودیت آنها در مناطقی است که به علت تراکم اجتماعات انسانی، انجام زراعت‌های متمرکز به طور کامل از نظر اقتصادی قابل توجیه می‌باشد.

– کاربرد مجدد آبهای آلوده، بار آلودگی حاصل از تخلیه آن را به منابع آب سحطی و زیرزمینی کاهش داده بدین‌ترتیب موجب کاهش هزینه‌های لازم در زمینه تصفیه منابع آب قابل دسترسی (زیرزمینی و سطحی) خواهد شد.

– در مقایسه با توسعه و یا ایجاد منابع آبی جدید برای کاربرد در امور کشاورزی و صنعت با تأمین آب از طریق کاربرد پس‌آب و یا فاضلاب‌ها (به‌جز موارد شرب و صنایع غذایی) از نظر اقتصادی در بیشتر حالات با صرفه‌تر است.

– ورود مستقیم مواد آلوده‌کننده به بدن انسان از طریق مصرف آبهای آلوده نقصان می‌یابد.

با توجه بر آنچه بیان گردید ملاحظه می‌شود که در صورت کاربرد پس‌آب و یا فاضلاب‌ها در امر کشاورزی نه تنها می‌توان سطوح کشت فعلی را به‌منظور تولید فرآورده‌های کشاورزی بیشتر، گسترش داد بلکه به‌علت موجودیت چنین منابع آبی در مناطق شهری و صنعتی لزوم تأمین و یا انتقال آب از مناطق دوردست نیز تا حدی کاهش خواهد یافت به علاوه مصرف آنها در کشاورزی موجبات حذف بعضی از عناصر در منبع پس‌آب و یا فاضلاب می‌گردد که از آن جمله می‌توان ازت و میزان بار فسفات آبهای آلوده را به علت خاصیت تثبیت شدن فسفر در خاک‌ها نام برد. همان‌گونه که تذکر داده شد به علت غنی بودن فاضلاب‌ها از مواد اصلی و کم‌مصرف موردنیاز گیاهان کاربرد لجن حاصل از تصفیه فاضلاب‌ها در مقایسه با کودهای معدنی در حالت‌هایی از کیفیت بهتری برخوردار است به عنوان نمونه کمبود بعضی از عناصر کم‌مصرف گیاهی از قبیل روی (Zn) با کاربرد پس‌آب، فاضلاب و یا لجن حاصل از تصفیه فاضلاب‌ها ترمیم می‌یابد.

از جمله مسائل و مشکلات ناشی از کاربرد مستقیم فاضلاب‌های شهری و صنعتی می‌توان موارد کلی زیر را برشمرد:

- خطرات بهداشتی.
- گزندهای ناشی از آلودگی منابع خاک و زمین.

خطرات بهداشتی را می‌توان به دو دسته تقسیم نمود مورد اول مرتبط با سلامت انسان‌ها و مورد دیگر در ارتباط با کاربرد فرآورده‌های کشاورزی حاصل از کاربرد فاضلاب‌ها در امور زراعی به‌وسیله انسان و دام می‌باشد.

درخصوص سلامت انسان‌ها عوامل بیماری زا شامل موارد زیر می‌باشند:

ویروس‌ها، می‌تواند بیماری‌هایی از قبیل منتژیت، آنفولانزا، تب، اسهال، بیماری‌های تنفسی، بیماری‌های قلبی، اسهال کودکان و سرانجام عفونت‌های کبدی را موجب گردد.

باکتری‌ها، قادرند در انسان امراضی از قبیل تیفوئید، اسهال و نوع باسیلی آن و سرانجام بیماریهای گوارشی را موجب شوند.

پروتوزئورها، موجد بیماری‌هایی از جمله اسهال خونی، عدم جذب غذا در بدن می‌باشند.

کرم‌ها و انگل‌های بیماری زا، در دستگاه هاضمه، ریه، مثانه، رکتوم، کبد و گاه نیز مولد اسهال‌های شدید و نقصان قابل ملاحظه وزن بدن انسان را فراهم می‌آورند.

مواد شیمیائی سمی و ترکیبات فلزات سنگین، از قبیل آرسینیک، کرم، نیکل، سرب، جیوه، کادمیوم، مس، سلینیوم و یا ترکیباتی نظیر سیانور، در صورت ورود به بدن انسان قادرند خطرات بسیار جدی برای سلامت انسان‌ها ایجاد نماید.

به جز ترکیبات شیمیایی گفته شده که به‌طور کلی بهداشت فردی انسان‌ها را به خطر خواهد انداخت، معدودی ترکیبات آلی از قبیل سموم حشره‌کش، علف‌کش‌ها، تتراکلرورکربن، کلرور بنزن، بنزن و دیگر ترکیبات پیچیده آلی ممکن است به هر دلیلی به فاضلاب‌ها وارد شده که این قبیل مواد حتی با غلظت‌های ناچیز قادرند دست‌اندرکاران کاربرد فاضلاب‌ها را از نظر بهداشتی به خطر انداخته به علاوه غلظت قابل ملاحظه‌ای از مواد آلی و ترکیبات فلزات سنگین در لجن حاصل از تصفیه فاضلاب‌ها وجود خواهد داشت.

آنچه بیان گردید خطرات فردی ناشی از کاربرد فاضلاب‌ها در آبیاری زراعی بوده و در صورت کاربرد فاضلاب‌ها از طریق آبیاری بارانی به علت تبخیر و تغلیظ قطرات آب در هوا و تنفس آن به وسیله افراد، خطرات جدی‌تری را در پی خواهد داشت. در زمینه خطرات کاربرد فرآورده‌های کشاورزی حاصل از کاربرد فاضلاب‌ها نظر به اینکه زمان ادامه زیست عوامل بیماری‌زا و نحوه استقرار آنها برروی محصولات کشاورزی و نحوه ادامه زیست آنها ضمن

طولانی بودن نسبتاً پیچیده است، درخصوص کاربرد فرآورده‌های کشاورزی حاصل از مصرف فاضلاب‌ها دو نظریه زیر وجود دارد.

– درصورتی‌که چنین فرآورده‌هایی به صورت خام مصرف نگردند (پخته شوند) کاربرد آنان بلامانع است.

– عده‌ای را نیز عقیده بر آنست که حتی با عاید شدن موارد حاصل از قسمت قبل خطرات کاربرد فاضلاب‌ها برای دست‌اندرکاران مصرف آن همچنان وجود خواهد داشت.

لیکن، درخصوص کاربرد علوفه و دانه‌هایی که به وسیله آبیاری با فاضلاب حاصل می‌آید و به وسیله حیوانات مصرف می‌شوند باید انتظار انتقال عوامل بیماری‌زا از طریق چنین محصولاتی به جانوران را داشت.

مواد نادر یا عناصر کم‌مصرف گیاهی (فلزات سنگین) در آبهای طبیعی نیز وجود دارد که ممکن است به علت تراکم در گیاه، نوعی مسمومیت خاصی را حاصل نموده و کاهش رشد را در پی داشته باشد. به‌طور طبیعی در فاضلاب‌ها (به خصوص نوع صنعتی آن) انواعی از مواد نادر یا عناصر کمیاب نظیر مس، روی، کادمیوم، و بُر به مقدار زیاد و عناصری از قبیل آرسینیک، کرومیوم، سرب، منگنز، جیوه، نیکل و غیره بستگی به نوع منبع یافت می‌شود که لازمست قبل از کاربرد پس‌آب یا فاضلاب در امر آبیاری میزان و نوع آن تعیین گردد. لیکن مسئله آلودگی خاک ناشی از کاربرد چنین آبهای آلوده‌ای همواره وجود خواهد داشت حداکثر غلظت مجاز عناصر کمیاب برای کاربرد پس‌آب فاضلاب‌ها در امر آبیاری (کوتاه و بلندمدت) در جدول (۶–۵) نشان داده شده است.

جدول (۶-۵): حدود مجاز عناصر شیمیایی (فلزات سنگین) در پس‌آبهای تصفیه شده فاضلاب‌ها برای آبیاری

نام عنصر شیمیایی	کاربرد طولانی‌مدت (۱) (میلی‌گرم در لیتر)	کاربرد کوتاه‌مدت (۲) (میلی‌گرم در لیتر)
آلومینیوم	۵/۰۰	۲۰/۰۰
آرسنیک	۰/۱۰	۲/۰۰
بریلیوم	۰/۱۰	۰/۵۰
بُر	۰/۷۵	۲/۰۰
کادمیوم	۰/۰۱	۰/۰۵
کرومیوم	۰/۱۰	۱/۰۰
کوبالت	۰/۰۵	۵/۰۰
مس	۰/۲۰	۵/۰۰
فلور	۱/۰۰	۱۵/۰۰
آهن	۵/۰۰	۲۰/۰۰
سرب	۵/۰۰	۱۰/۰
لیتیوم	۲/۵۰	۲/۵۰
منگنز	۰/۲۰	۱۰/۰
مولیبدن	۰/۰۱	۰/۰۵
نیکل	۰/۲۰	۲/۰۰
سلنیوم	۰/۰۲	۰/۰۲
وانادیوم	۰/۱۰	۱/۰۰
روی	۲/۰۰	۱۰/۰

۱- برای مصارف مستمر در انواع خاک‌ها

۲- برای کاربرد تا بیست سال در خاک‌های ریز بافت با واکنش (pH) خنثی و یا خاک‌های قلیایی

نتیجه این‌که در صورت اعمال دقت مناسب و در نظر گرفتن اثرات تجمعی و طولانی مدت کاربرد فاضلاب‌ها و یا پس‌آب آنها از نظر کل میزان آب مصرفی، افزایش نمک‌ها، مواد غذایی

و عناصر کمیاب در خاک می‌توان آنها را به عنوان منابع مطمئن و پر ارزش در کشاورزی به کار برد. جالب آن است که کاربرد آن نه تنها از نظر آبیاری تمام فصلی یا آبیاری تکمیلی زراعی می‌تواند مؤثر باشد بلکه اکثر فاضلاب‌ها و پس‌آبها (پس از اعمال تصفیه‌های مقدماتی یعنی جداسازی مواد جامد از مایع و تصفیه ثانویه، هوادهی، هضم و بالاخره تخلیه آب پایدار) از نظر میزان مواد غذایی مورد نیاز گیاهان (عناصر غذایی اصلی و کم‌مصرف) غنی و با ارزش می‌باشند و کاربرد آن با استفاده از روش‌های معمولی امکان‌پذیر است (در امر آبیاری).

همان‌گونه که در بالا بیان شده فاضلاب‌ها را می‌توان به‌صورت تصفیه شده و یا خام (بستگی به نوع منبع و درجه آلودگی آن، شرایط خاک و غیره...) به‌کار برد و مصرف آن در اکثر نقاط جهان مرسوم گردیده است.

۶-۷- ملاحظات لازم برای کاربرد لجن حاصل از تصفیه فاضلاب‌ها

به علت محدود بودن منابع آب مناسب، افزایش میزان آلودگی آبهای قابل استحصال (سطحی و زیرزمینی)، نیاز روز افزون به کاربرد بیشتر آب در بخش‌های کشاورزی، صنعت، صنایع و مصارف شهری، انسان نیازمند به کاربرد پس‌آبهای کشاورزی ، شهری، صنعتی و فاضلاب‌ها (تصفیه شده یا خام) گردیده است. از جمله فرآورده‌های حاصل از تصفیه فیزیکی و بیولوژیکی فاضلاب‌ها، لجن را می‌توان نام برد که به علت سرشار بودن از مواد مغذی مورد نیاز گیاهان کاربرد آن از نظر تقویت قدرت حاصلخیزی و باروری خاک‌ها و اثرات مطلوب آن در اصلاح فیزیکی بعضی زمین‌ها مورد توجه قرار گرفته و کاربرد آن روزافزون گردیده است و به‌طوری- که قبلاً نیز تذکر داده شد لجن‌های حاصل از تصفیه (فیزیکی و بیولوژیکی) فاضلاب‌ها غنی و سرشار از مواد غذایی (کم‌مصرف و پرمصرف) می‌باشد.

لیکن لازم است قبل از کاربرد لجن در کشاورزی روش‌های تصفیه آن که امکان آلودگی محیط و دست‌اندرکاران را به حداقل می‌رساند اعمال گردد. به‌علت وجود بعضی عوامل پاتوژنیک (بیماری‌زا) از قبیل ویروس‌ها در لجن تصفیه نشده، مصرف لجن خام توصیه نگردیده است. آزمایش‌های انجام یافته نمایان‌گر آن است که مصرف لجن حاصل از تصفیه فاضلاب‌ها پس از عملیات هضم ،جذب و هوادهی آن‌هم در حرارت‌های بطور نسبی بالا و در شرایط کنترل شده خطرات فردی از نظر بهداشتی در پی نخواهد داشت زیرا در اثر عمل هضم و جذب، قسمت عمده عوامل بیماری‌زا از بین خواهد رفت، لیکن تخم بعضی از انگلها قادرند

حتی تا مدت شش ماه و یا بیشتر در لجن باقی بمانند، مگـر آنکـه عملیـات تخمیـر در درجـه حرارتی در حدود ۸۰ درجه سانتیگراد به‌انجام رسد. درخصوص کاربرد لجن‌های تصفیه شـده و فرآورده‌های حاصل از کشاورزی با آن برای مصارف خوارکی (بطور عمـده نـوع پختـه شـده) محدودیتی گزارش نگردیده لیکن در خصوص مصرف علوفه به وسیله دام مدت زمان معقولی باید بین مصرف لجن در زمین‌ها و چرای احشام قائل گردید. از جمله معضلات مصرف لجـن حاصل از تصفیه فاضلاب‌ها در کشاورزی وجود پاره‌ای عناصر سنگین نظیر مس، کرم، نیکـل، روی، کادمیوم، در آن است. البته بسته به نوع منبع ممکن اسـت عناصـری از قبیـل وانـادیم، مولبیدن، کبالت و سایر فلزات نادر نیز درآن وجود داشته باشـد. همـان‌گونـه کـه در خصـوص پس‌آب و فاضلاب‌ها بیان گردید ممکن است علاوه بر صدمه به رشد و نمو گیاهان موجبـات آلودگی خاک را نیز فراهم آوردند. البته در زمینه کاربرد لجن در کشاورزی (به منظور انجام امور زراعی) استانداردهای ویژه‌ای وجود دارد که به علت اختصار کلام و امکان دسترسی بـه منـابع متنوعی در این زمینه از پرداختن به آن خودداری می‌گردد.

۶-۸- راه‌کارهای مدیریتی تعدیل پیامدهای محتمل و نتیجه‌گیری

با عنایت بر آنچه در بالا بیان گردید و مروری مجدد بر تجربیات سایر کشورها نشان می‌دهـد که در پاره‌ای از کشورها، به‌طور کلی تخلیه آبهای آلوده (صرف نظر از منشاء آلـوده‌سـازی آن) به منابع آب سطحی مجاز نیست و بر این اساس، طبق مقرراتی لزوم تصفیه و کـاربرد مجـدد پس‌آب فاضلاب ها تقریباً اجباری است اجرای این سیاست می‌تواند منجر بـه کـاربرد مـؤثر و اضافی آب گردیده و از آلودگی سایر منابع فیزیکی (خاک و آب) نیز جلوگیری به‌عمل آورد. در کشاورزی کاهش ضایعات آبی، اصلاح و بهسازی آن بیشتر مربوط به مدیریت مـی‌گـردد و در این خصوص اعمال مدیریت درست می‌تواند به میزان بسیار قابل ملاحظه‌ای کـاهش عوامـل آلوده کننده منابع آب را به دنبال داشته باشد. در این خصوص و در ارتباط با حفظ و سالم‌سازی محیط زیست اجرای اقدامات زیر می‌تواند عمومیت اجرا داشته باشد.

اول- تحت هیچ شرایطی واحدهای صنعتی دامداری و دامپـروری مجـاز بـه تخلیـه پـس‌آب فاضلاب‌های حاصله به جریا ن‌های آب سطحی نبوده و در صورت عدم امکان کاربرد موقـت،

ذخیره‌سازی آن الزامی گردد علاوه بر آن در شرایط خاص کاربرد کودهای حیوانی (جامد یا مایع) بدون انجام کامل عملیات تخمیر مجاز نباشد.

دوم – پس‌آبهای خروجی سایر زیربخش‌های کشاورزی (آبیاری و صنایع کشاورزی) نیز باید از طریق خط لوله، کانال و یا زهکش با کمیّت و کیفیت مشخص (از نظر مجموع اجسام معلق، شوری، مقدار ازت، فسفر و مواد حشره‌کش و غیره) به محل‌های معینی منتقل تا براساس ضوابط معینی تخلیه، بهسازی و یا مصرف گردد.

به هرحال، به‌منظور کاربرد مؤثر و مفید آب در کشاورزی و همچنین جلوگیری از آلودگی منابع آب سطحی اقداماتی از جمله: روش عدم تخلیه، روش رقیق نمودن ضایعات آبی و بالاخره روش حداکثر مصرف ممکن و هر یک در شرایط خاصی می‌تواند تطبیق، توصیه و به‌کار گرفته شود.

روش عدم تخلیه

کاربرد این روش در آبیاری مرسوم است، بدین معنی که هیچ‌گونه هرز آب سطحی (هرزآب سطحی حاصل از آبیاری یا زهکشی سطحی مزرعه) و بهر مقدار نباید از یک واحد زراعی از هر طریقی (خطوط لوله، کانال و یا زهکش‌ها) به جریانات سطحی، دریاچه‌ها و یا ذخایر آبی تخلیه گردد. بنابراین مسئله پمپاژ و استفاده دوباره از هرزآبهای سطحی در کشاورزی و آبیاری مطرح خواهد بود.

روش رقیق نمودن ضایعات آبی

بر این مبنا قبل از این‌که مجوز تخلیه ضایعات آبی داده شود، باید نسبت به رقیق نمودن آن از طریق آب مناسب اقدام نمود. مشکل این روش در آنست که به حجم زیادی آب احتیاج دارد. به‌طور نمونه در صورتی که بخواهیم آبی را با شوری شش دسی‌زیمنس بر متر (هدایت الکتریکی آب)، به حد مجاز شوری قابل تخلیه (مثلاً یک دسی‌زیمنس بر متر) برسانیم، بدین منظور باید آن‌را با حداقل پنج قسمت آب رقیق نمائیم که حجم به‌طور نسبی زیادی است و در حالت‌های عادی چنین میزان آبی به طور معمول در دسترس نیست.

روش حداکثر مصرف ممکن

در این روش، تخلیه هر نوع فاضلاب، پس‌آب و هرزآبهایی که بتوانند تحت هرگونه شرایطی مورد استفاده قرار گیرند مجاز نیست و فقط آبهایی را که واقعاً غیرقابل استفاده گردیده‌اند، به محل‌های بخصوص انتقال، تخلیه و دفع می‌نمایند.

هر کدام از روش‌های گفته شده در بخش کشاورزی می‌تواند تحت شرایط خاصی قابلیت کاربرد داشته و راه‌حلی در زمینهٔ جلوگیری از آلودگی منابع آب گردد. لازم به تذکر است که با تغییر شرایط و امکانات ممکن است یکی از روش‌ها جایگزین روش دیگری گردد. به‌طور نمونه روش رقیق نمودن ضایعات آبی تا زمانی که آب کافی برای اختلاط در دسترس باشد قابل کاربرد است. در حالی که با افزایش تقاضای مصرف آب در منطقه و یا به علل دیگری ممکن است روش عدم تخلیه و یا در نهایت روش حداکثر مصرف ممکن آب منطقی‌تر باشد.

علاوه بر موارد گفته شده که مرتبط با عوامل آلوده‌کننده منابع آب سطحی می‌باشد، مسئله آلوده‌سازی منابع آب زیرزمینی نیز مطرح است. منشاء این آلوده‌سازی‌ها در بخش کشاورزی بیشتر مربوط است به تراوشات عمقی آب آبیاری (از زیر محدوده توسعه ریشه‌ها)، آب زهکش‌ها و موارد مشابه، که کنترل و یا کاهش اثر آنها نیز در شرایطی اهمیت دارد اگر چه ممکن است تصور گردد که هیچ راهی برای جلوگیری از نفوذ تراوشات عمقی آب وجود ندارد. به‌هرحال، کنترل و کاهش ضایعات آبی حاصل از هدر رفتن آب در امر آبیاری (راندمان‌های انتقال، توزیع و مصرف آب) در حیطه اعمال روش‌ها و سیاست های مدیریت آب و آبیاری است، به طور طبیعی هرگاه میزان آب کاربردی برای آبیاری زراعی بر مبنای مقادیر تبخیر و تعرّق و کسر آبشویی نمک‌ها و راندمان‌های مناسب آبیاری محاسبه و به‌کار رود، میزان تراوشات عمقی و زه‌آب زهکشی به حد قابل ملاحظه‌ای نقصان خواهد یافت.

- بعضی منابع برای مطالعه بیشتر

۱. اسلامیان، سعید و صالح ترکش اصفهانی ۱۳۹۰: باز یافت آب (کاربرد پساب شهری)، چاپ اول، انتشارات ارکان دانش – اصفهان.

۲. حاج رسولیها، شاپور ۱۳۶۴: کیفیت آب برای کشاورزی (نوشته آیرز و وست کات)، چاپ اول، مرکز نشر دانشگاهی – تهران.

۳. حاج رسولیها، شاپور ۱۳۸۲: کیفیت آب برای کشاورزی (نوشته آیرز و وست کات)، چاپ اول، مرکز نشر دانشگاهی – تهران.

۴. راهنمای مطالعات طرح‌های استفاده از فاضلاب‌های تصفیه شده شهری و روستایی ۱۳۸۸: معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رئیس‌جمهور، نشریه شماره ۴۳۴ – تهران.

۵. علیزاده، امین ۱۳۸۷: کیفیت آب در آبیاری (نوشته شینبرگ و اوستر)، چاپ پنجم انتشارات آستان قدس (به نشر) – مشهد.

۶. محمدی، پرویز و دیگران ۱۳۸۵: مروری بر استانداردها و تجارب استفاده از پساب‌ها برای آبیاری، گروه کار اثرات زیست محیطی، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران ، شماره ۱۰۴ – تهران.

7. Fipps, Guy. (n.d): Irrigation Water Quality Standards and Salinity Management, Texas Cooperative Extention, The Texas a & M University System, B-1667, 4-03.
8. Minhas, P.S. and N.K. Tyagi. 1998: Guidelines for Irrigation with Saline and Alkali Waters. Bull. No. 1/98, Central Soil Salinity Research Institute, Karnal, India.
9. Richards, L.A (Editor). 1954: Diagonsis and Improvement of Saline and Alkali Soils. Agricultural Handbook, No.60, USDA, Washington, D.C.
10. Tchobanglus, G. and F, L. Burton. 1991: Waste Water Engineering, Treatment, Disposal, and Reuse, Irwim/ Mc Graw – Hill.

بخش دوم
بیلان آب و نمک در رویشگاه گیاهان (زراعی و باغی)
و ضرورت پایش و کنترل آن

فصل هفتم: بیلان آب و نمک در رویشگاه گیاهان (زراعی و باغی)

۷-۱- بیلان آب و نمک در خاک

زمین‌های زیرکشت و آبیاری، به‌طور مستمر مقدار زیادی نمک محلول را از دو منبع عمده، یعنی آب آبیاری و خیز موئینگی ناشی از سطوح ایستابی کم عمق (با کیفیت‌های گوناگون) دریافت می‌کنند. برای مثال، هرگاه مزرعه‌ای با آبی معادل ۱۰۰۰ میلی‌متر در سال آبیاری شود و حتی اگر آب استفاده شده دارای ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر(قسمت در میلیون) نمک محلول باشد، به‌طور میانگین ۳ تن نمک محلول در سال به مزرعه وارد می‌شود. اگر نمک‌های افزوده شده به نیمرخ خاک، به‌نحوی از محدوده توسعه ریشه گیاهان در نیمرخ خاک آبشویی، تخلیه و دفع نشود شور شدن زمین‌های موردنظر را می‌توان انتظار داشت.

همان‌گونه که اشاره شد، منشأ دیگر افزایش نمک و تراکم آن در نیمرخ خاک و حتی در محدوده توسعه ریشه گیاهان، خیز موئینگی آب‌های زیرزمینی کم عمق است. سطوح ایستابی که به‌طور عمده کم‌عمق هستند، در مناطق زیر کشت و آبیاری از دو طریق به‌وجود آمده و یا گسترش می‌یابند: ۱- فرایندهای هیدرولوژیکی منطقه و یا تلفات بیش از حد استحصال و ۲- توزیع و به کارگیری آب آبیاری در سطح زمین و مزارع. پدیده خیز موئینگی در خاک‌های به‌طور عمده سنگین و میان‌بافت ممکن است گاهی تا سطح خاک نیز ادامه یابد و ضمن تبخیر آب (رطوبت)، نمک‌های موجود را در سطح زمین و مزرعه برجای گذارد.

هرگاه سطوح ایستابی کم‌عمق به‌طور پیوسته تغذیه شوند و تراکم نمک در آنها به حد زیان‌آور برای رشد و نمو در محیط رویش گیاهان نرسد، به‌شرط آنکه محدوده خیز آن نیز به ناحیه گسترش ریشه گیاهان مورد نظر توسعه نیابد، مشکلات کمی را در امور زراعی و عملکرد محصول به‌وجود می‌آورند. بنابراین در شرایطی که منبع تغذیه آب‌های زیرزمینی منطقه از منشأ دیگر آن هم به‌طور پیوسته و گاهی با آب‌های ورودی با کیفیت نامطلوب همراه باشد، فرایند شوری و به دنبال آن سدیمی شدن خاک می‌تواند قابل ملاحظه باشد، همچنین به‌دلیل تنوع منشأ تراوش‌های عمقی تغذیه‌کننده سطوح ایستابی مناطق آبیاری،

تأثیر نامناسب و شدید آنها بر زمین‌های زراعی آیش (حتی موقت) قابل توجه خواهد بود. گاهی ممکن است منشأ تغذیه آب‌های زیرزمینی کم‌عمق در زمین‌های مورد آبیاری، به‌دلیل وجود حالت تحت فشار (آرتزین) آب‌های زیرزمینی موضعی و یا منطقه‌ای نیز باشد. با توجه به موارد گفته شده، ضرورت دارد همواره مقداری آب، افزون بر نیاز آبی گیاه، از محدوده توسعه ریشه گیاهان به پایین نفوذ کند و موجب آبشویی نمک‌ها از ناحیه رشد ریشه گیاهان شود. هرچند ممکن است این‌گونه تراوش‌های عمقی در نهایت به آبخوان-های زیرزمینی تخلیه شوند. بنابراین در شرایطی که وضعیت زهکشی طبیعی(داخلی) خاک مناسب باشد، این تراوش‌ها می‌توانند بدون افزایش قابل ملاحظه سطوح ایستابی، از منطقه خارج شوند. در بیشتر موارد، وضعیت زهکشی طبیعی(داخلی) خاک‌ها برای این کار کافی نیست، در نتیجه ضرورت احداث و یا تعبیه زهکش‌های کمکی یا اصلی، توجیه‌پذیر می‌شود. در چنین شرایطی، اعمال زهکشی در زمین‌های زیر کشت و آبیاری، باعث دست-یابی به دو منظور مهم، اصلی و همزمان در برقراری بیلان آب و نمک در محدوده رشد و توسعه ریشه گیاهان و مدیریت سطح ایستابی خواهد شد.

۷-۱-۱- بیلان آب و نمک در محدوده توسعه ریشه گیاهان

بیلان آب[1] را در زمین‌های زیر کشت و آبیاری می‌توان به شرح زیر بیان کرد:

$$I+P+G = ET+R+\Delta W \qquad (۱-۷)$$

که در آن :

I = مقدار مؤثر آب آبیاری،

P = میزان مؤثر بارش‌های آسمانی،

G = مقدار خیز موئینگی آب زیرزمینی،

ET = مقدار تبخیر و تعرق گیاهی،

R = میزان تراوش‌های عمقی و

ΔW = مقدار تغییر در رطوبت انبارش شده.

1 - Water Balance

بـُعد واژه‌های بالا در یک دوره زمانی معین به‌صورت میلی‌متر و یا لیتر بر متر مربـع بیـان شود.

عبارت‌های P و I در رابطه بالا به‌صورت کمیت‌های مؤثر بیان‌شده‌اند. زیـرا، ایـن اجـزا در ارتباط با کمیت‌هایی هستند که باید از سطح به درون نیمرخ خاک نفوذ کنند. در مـورد آب آبیاری، مقدار عرضه‌شده به مزرعه بدون در نظر گرفتن رواناب سـطحی و مقـادیر تبخیـر مورد نظر است (نفوذ خالص) و میزان انبارش (ΔW) ممکـن اسـت مثبـت(افزایشـی) و یـا منفی(کاهشی) باشد. ضمن آنکه در بیشتر حالت‌ها در دوره‌های زمانی طولانی مدت، برای مثال یک سال یا بیشتر، قابل چشم‌پوشی است.

مفهوم بارندگی مؤثر نیز ممکن است در دیدگاه‌های کارشناسان مختلف، متفاوت باشد زیرا در مبانی علم هیدرولوژی، مفهوم رواناب در حوضه آبخیز، شامل کل میزان بارندگی اسـت که به‌صورت رواناب سطحی درمی‌آید و شامل رواناب مزرعه‌ای نیز مـی‌شـود کـه بایـد در رابطه بیلان آبی بالا به‌صورت عبارتی، کسر شود.

در مورد بیلان نمک[1] و دست‌یابی به رابطه حاکم بر آن، فرض بـر ایـن اسـت کـه نمـک موردنظر به‌طور کامل محلول باشد و هیچ‌گونه رسوبی در محلول خاک ته‌نشین نشـود. بـا این فرض، می‌توان بیلان نمک در ناحیه توسعه ریشه گیاه را به‌شرح زیر نوشت:

$$IC_i + PC_P + GC_g = R\,C_r + \Delta Z' \qquad (۲-۷)$$

در رابطه بالا :

C = غلظت نمک برحسب میلی اکی والنت بر لیتر،

i = پسوند معرف آب آبیاری،

p = پسوند معرف بارندگی،

g = پسوند معرف آب زیرزمینی،

r = پسوند معرف تراوش‌های عمقی آب و

$\Delta Z'$ = تغییرات میزان نمک در محدوده توسعه ریشه گیاه برحسب میلی‌اکی والنت برمترمربع.

1 - Salt Balance

به‌دلیل این‌که میزان نمک افزوده‌شده به زمین‌های فاریاب به‌وسیله بارندگی، در مقایسه با آنچه از راه آب آبیاری به خاک اضافه می‌شود، قابل چشم‌پوشی است، در نتیجه می‌توان مقدار PC_p را صفر فرض کرد. افزون بر این، فرض می‌شود که در شرایط تعادلی $Cg = Cr$ باشد بنابراین می‌توان رابطه بالا را به صورت ساده شده زیر نوشت:

$$IC_i = R^* C_r + \Delta Z' \qquad (۳-۷)$$

که در آن، R^* میزان تراوش خالص بر حسب میلی‌متر یا لیتر بر مترمربع و مقدار آن (R-G) است. در حالت جذب و یا دفع نمک‌ها، مشخص شده که مقدار تراوش‌های عمقی خالص (R^*) را می‌توان برابر با آنچه به‌عنوان نیاز آبشویی شناخته می‌شود، در نظر گرفت. در شرایطی که بیلان نمک در خاک در حالت تعادل باشد، $\Delta Z'$ نیز صفر خواهد بود و در حالتهای غیرتعادلی، مقدار نمک‌ها در محدوده توسعه ریشه گیاه(هان) در ابتدای دوره موردنظر (Z'_1)، با آنچه در پایان دوره مورد مطالعه (Z'_2) حاصل می‌شود، متفاوت خواهد بود، به‌گونه‌ای که می‌توان رابطه زیر را ارائه داد:

$$\Delta Z' = Z'_2 - Z'_1 \qquad (۴-۷)$$

که در آن، (Z'_1) و (Z'_2) نیز برحسب میلی‌اکی والنت بر مترمربع بیان می‌شود.

۷-۱-۲- ضریب بازده یا بازده آبشویی نمک‌ها[1]

هرگاه مقدار نمک‌های محلول در خاک محدوده توسعه ریشه گیاه، برابر با Z' در نظر گرفته شود، با قبول این فرض که حرکت همزمان آب و نمک در محدوده توسعه ریشه گیاه رو به پایین بوده و در میزان رطوبتی برابر با ظرفیت مزرعه در خاک اتفاق می‌افتد، منطقی خواهد بود که مقدار نمک‌های محلول (Z') در حالت رطوبت θ_{fc} نشان داده شود که معرف میزان رطوبت خاک در حد ظرفیت مزرعه و در محدوده توسعه ریشه گیاه است که برحسب میلی‌متر یا لیتر بر مترمربع بیان می‌شود. مقدار θ_{fc} از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$\theta_{fc} = \frac{\theta_{fc}}{۱۰۰} . D \qquad (۵-۷)$$

که در آن :

1 - Salt Leaching Efficiency

θ = میزان رطوبت خاک برحسب درصد حجمی،
fc = پسوند معرف رطوبت در حد ظرفیت مزرعه و
D = عمق توسعه ریشه گیاه بر حسب میلی‌متر.

غلظت نمک‌های محلول (C_{fc}) در محدوده ریشه در رطوبت ظرفیت مزرعه به‌صورت زیر است:

$$C_{fc} = \frac{Z'}{\theta_{fc}} \qquad (۶-۷)$$

هرگاه در یک دوره زمانی مقدار Z' از $Z'_۱$ تا $Z'_۲$ تغییر کند، میانگین غلظت نمک‌های محلول ($\overline{C}_{fc}$) رطوبت خاک در حد ظرفیت مزرعه، در این دوره زمانی برابر خواهد بود با:

$$\overline{C}_{fc} = \frac{Z'_۱ + Z'_۲}{۲\theta_{fc}} = \frac{Z'_۱}{\theta_{fc}} + \frac{\Delta Z'}{۲\theta_{fc}} \qquad (۷-۷)$$

برای بیان غلظت نمک (C_r) در آبی که به‌صورت نفوذ عمقی به خارج از محدوده توسعه ریشه گیاه (بخش زیرین) به درون نیمرخ خاک نفوذ می‌کند، سه فرض زیر را می‌توان اعمال کرد که هر کدام از این فرض‌ها بیانگر مدل (نمـّون) متفاوتی است.

$C_r = C_{fc}$
$C_r = f.C_{fc}$
$C_r = f.C_{fc} + (۱-f).C_i$

در رابطه‌های بالا، f معرف ضریب بازده یا بازده آبشویی نمک و بدون بُعد است و مقدار عددی آن بین صفر تا یک ($۰<f<۱$) در خاک‌های مختلف، متفاوت است.

به‌گونه‌ای‌که در منابع دیگر شرح داده شده است*، فرض $C_r = C_{fc}$ حالت اختلاط کامل در مخزن بدون معبر، و دو فرض دیگر مربوط به مخازن با معبر فرعی می‌باشند. دقت در فرضیه‌های اخیر نشان می‌دهد که فرضیه $C_r = f.C_{fc}$ بیانگر حالتی است که غلظت نمک‌ها در آب آبیاری برابر با صفر فرض شده و بدین ترتیب با به‌کارگیری این فرض غلظت جریان خروجی برآورد می‌شود، درحالی‌که رابطه $C_r = f.C_{fc} + (۱-f).C_i$ که کاربرد بیشتری دارد، در شرایطی اعمال می‌شود که غلظت نمک‌های محلول در آب

* راهنمای کاربرد مدل‌های تجربی و نظری آبشویی نمک‌های خاک‌های شور، نشریه شماره ۳۵۹، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور (۱۳۸۵).

آبیاری قابل چشم‌پوشی نباشد، کاربرد این فرضیه (رابطه) در این مبحث بیشتر موردنظر است.

تجربه نشان داده است که بازده آبشویی نمک در خاک‌های سبک، بیش از خاک‌های سنگین و رسی است. زیرا در خاک‌های سنگین‌بافت و رسی، به‌دلیل ایجاد و توسعه سلّه‌های (درز و ترک در سطح خاک) عریض و گاه عمیق، میزان بازده آبشویی نمک‌ها به‌دلیل عبور جریان آب از درون این شکاف‌ها کمتر است، هرچند مستقل از بافت خاک، مقدار بازده آبشویی نمک‌های محلول (f) در نیمرخ خاک، بیشتر به روش آبشویی و یا آبیاری ارتباط دارد. برای مثال در شرایط عملیات آبیاری نواری یا غرقابی، بازده آبشویی به مراتب از حالت به‌کارگیری روش آبیاری جوی پشته بیشتر است. بنابراین باید بیان کرد که بیشترین میزان بازده آبشویی نمک‌های محلول در نیمرخ خاک‌ها، به‌طورمعمول در شرایط به کارگیری روش آبیاری بارانی و یا به وسیله بارندگی‌های طبیعی در حالتی که میزان بارش‌های آسمانی شدت کمی دارد، به‌دست می‌آید، ضمن آنکه مقدار آن در هر حالت با افزایش عمق در نیمرخ خاک افزایش می‌یابد. به‌عنوان یک رهنمود تجربی می‌توان مقادیر بازده آبشویی (f) مرتبط به بافت خاک را به‌صورت تقریبی زیر ارائه کرد:

- برای خاک‌های با بافت متوسط، سبک تا متوسط، $f = ۰/۶ - ۰/۵$
- برای خاک‌های با بافت سنگین، نسبتاً سنگین تا متوسط و $f = ۰/۵ - ۰/۴$
- برای خاک‌های با بافت خیلی سنگین تا سنگین و رسی. $f = ۰/۳ - ۰/۲$

به هرحال، بهتر است که مقدار واقعی بازده یا بازده آبشویی را از طریق آزمایش‌های مزرعه‌ای و یا تحلیل‌های لازم بر روی رقم‌های حاصل از اجرای آزمایش‌های آبشویی نمک‌های محلول در نیمرخ خاک و بر مبنای فرضیه‌های بیان‌شده محاسبه و یا برآورد کرد.

۷-۱-۳- رابطه تعادل نمک و نیاز آبشویی

در مناطقی که سامانه‌های آبیاری و زهکشی آن به‌طور مطلوب طراحی شده باشند، نباید انتظار هیچ‌گونه تراکم نمکی را در محدوده توسعه ریشه گیاه داشت. بنابراین، دو عبارت ΔW و $\Delta Z'$ که در رابطه بیلان آب و نمک بیان‌شده، در دوره‌های زمانی درازمدت برای مثال در یک‌سال می‌تواند قابل چشم‌پوشی باشد. با یادآوری دوباره این‌که عبارت

R^* مبین میزان تراوش‌های عمقی خالص عمودی و رو به پـایین (R-G) اسـت، رابطـه بیلان آب را به‌صورت زیر می‌توان ارائه داد.

$$I + P = ET + R^* \qquad (۸-۷)$$

و رابطه بیلان نمک را نیز می‌توان به شکل زیر نوشت:

$$I\overline{C}_i = R^* * \overline{C}_r \qquad (۹-۷)$$

که در آن، عبارت‌های $\overline{C}_i$ و $\overline{C}_r$ معرف میانگین غلظت‌ها در دوره زمانی موردنظـر اسـت، با حل رابطه‌های بالا برای مقدار I و قرار دادن آن در روابط بیان‌شـده، رابطـه زیـر نتیجـه می‌شود:

$$R^* = (ET - P)\frac{\overline{C}_i}{\overline{C}_r - \overline{C}_i} \qquad (۱۰-۷)$$

با جایگزینی مقدار C_r از رابطه $[C_r = f.C_{fc} + (۱-f).C_i]$ و با استفاده از مقادیر درازمدت برای $\overline{C}_r$ ، $\overline{C}_i$ و $\overline{C}_{fc}$ و مرتب کردن دوباره آنها، رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$R^* = (ET - P).\frac{\overline{C}_i}{f.(\overline{C}_{fc} - \overline{C}_i)} \qquad (۱۱-۷)$$

لازم به یادآوری است که در رابطه تعادل نمـک(رابطـه بـالا)، مقـدار R^* بـه‌طـورمعمـول به‌عنوان نیاز آبشویی شناخته می‌شود که مقدار آن را می‌تـوان در شـرایطی کـه بیشـترین مقدار برای غلظت نمک‌های محلول در رطوبت خاک $\overline{C}_{fc}$ تثبیت‌شده باشد، محاسبه کرد و آب آبیاری موردنیاز را به آسانی و با استفاده از رابطه بیلان آب به‌شرح زیر به‌دست آورد.

$$I = ET - P + R^* \qquad (۱۲-۷)$$

که بدین‌ترتیب، مقدار R^* با استفاده از رابطه ۷-۱۱ محاسبه می‌شود.

با تعمق در دو رابطه اخیر رابطه زیر به دست می‌آید:

$$LF = \frac{R^*}{I} \qquad (۱۳-۷)$$

که در آن، LF کسر آبشویی[1] و بدون بُعد است. هرگاه رابطه اخیر را معکوس نماییم، رابطه به‌دست آمده به‌صورت زیر خواهد بود:

$$N = \frac{I}{R^*} = \frac{۱}{LF} \qquad (۱۴-۷)$$

در این رابطه N ضریب غلظت[2] و بدون بُعد است.

۷-۱-۴- رابطه انباشت نمک

در مباحث قبلی چنین فرض می‌شد که هیچ‌گونه تفاوتی بین مقدار نمک انباشته‌شده در محدوده توسعه ریشه گیاهان در دوره موردنظر وجود ندارد، هرچند امکان دارد این موضوع در دوره‌های درازمدت (یک‌سال) وجود داشته باشد، لیکن در این دوره، به‌دلیل ایجاد تغییرات فصلی در شرایط آب و هوایی، تغییر نوع کشت، کاربرد آب و کیفیت آب‌های مصرفی، انتظار تغییر در میزان نمک انباشته شده در نیمرخ خاک متصوّر است. این‌گونه تغییرات کوتاه‌مدت در میزان نمک‌های خاک (در یک فصل و یا یک ماه) را می‌توان با روش زیر محاسبه کرد.

با جایگزینی مقدار C_r از رابطه $[C_r = f.C_{fc} + (۱-f)C_i]$ در رابطه پیش گفته $(IC_i = R^*.C_r + \Delta Z')$ و حل آن برای عبارت $\Delta Z'$ رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$\Delta Z' = IC_i - (۱-f)R^*C_i - f\,R^*C_{fc} \qquad (۱۵-۷)$$

هرگاه دوره مورد نظر به اندازه کافی کوتاه باشد، می‌توان غلظت آب آبیاری را بدون تغییر (ثابت) فرض کرد، لیکن رطوبت خاک، ثابت نبوده و بدین دلیل مقدار C_{fc} را در رابطه باید با استفاده از $\overline{C}_{fc}$ به‌دست آمده از رابطه بیان‌شده در مبحث ۷-۲-۱ جایگزین کرد که با توجه به آن، رابطه زیر به‌دست می‌آید:

1- Leaching Fraction (LF)
2- Concentration Factor

$$\Delta Z' = \frac{I.C_i - (۱-f)R^* C_i - \frac{f.R^* Z'_۱}{\theta_{fc}}}{۱ + \frac{f.R^*}{۲\theta_{fc}}} \qquad (۱۶-۷)$$

هرگاه جایگزینی‌های زیر در رابطه بالا اعمال شود،

$$K = I C_i - (۱-f)R^* C_i$$

$$L = \frac{f.R^*}{\theta_{fc}}$$

$$M = ۱ + ۰/۵ L$$

نتیجه به شکل رابطه ساده زیر قابل ارائه است :

$$\Delta Z' = \frac{K - L Z'_۱}{M} \qquad (۱۷-۷)$$

رابطه اخیر با عنوان رابطه انباشت نمک[1] شناخته می‌شود. هرگاه میزان غلظت اولیه نمک‌ها در محدوده توسعه ریشه $Z'_۱$ (توسط نمونه‌برداری از خاک) مشخص باشد مقدار $\Delta Z'$ را می‌توان با استفاده از رابطه بالا به‌طور مستقیم محاسبه کرد. و بدین ترتیب با استفاده از این رابطه، می‌توان موارد شوری‌زدایی[2] خاک‌های مورد آبیاری در اثر کاربرد آب آبیاری را برآورد و یا پیش‌بینی کرد. به‌طور معمول در بیشتر موارد تغییرات و انحراف میزان شوری در مقایسه با میزان نمک‌های تعادلی در درازمدت مورد نظر است. در این شرایط، $Z'_۱$ نامشخص است و تنها راه‌حل این است که مجموع کمیت‌های $\Delta Z'$ در درازمدت برابر با صفر باشد. در عمل، $\Delta Z'$ را به‌طورمعمول به‌صورت دوره‌های زمانی یک‌ماهه محاسبه می‌کنند و فرض می‌شود که در یک دوره یک‌ساله، میزان تغییرات شوری قابل چشم‌پوشی باشد. به عبارت دیگر می‌توان نوشت:

$$\sum_{n=۱}^{n=۱۲} \Delta Z'_n = ۰ \qquad (۱۸-۷)$$

برای حل این مسئله دو راهکار وجود دارد.

1- Salt Storage Equation
2- Desalinization

الف- بـا بـرآورد مقـدار اولیـه Z'_1 (کـه ممکـن اسـت صـفر باشـد)، رابطـه قبلـی یعنـی $[\Delta Z' = (K - LZ'_1)/M]$ را باید برای دوره‌های زمانی متوالی به‌کار برد تا زمانی کـه در نهایت به‌حالت تعادلی (شرایط بیان‌شده برای این‌که مجموعه $\Delta Z'_n$ برابر بـا صـفر شـود) برسد. فرایند مشابهی در طبیعت برای خاک‌های غیرشوری که آبیاری می‌شوند با افـزایش مقدار شوری تعادلی خاک امکان‌پذیر است. از سوی دیگر، همین فرایند در مورد خاک‌های شوری که آبشویی می‌شوند نیز از نظر تعادلی حاصل می‌شود.

ب - مقادیری فرضی برای $\Delta Z'_1$ در نظر گرفته مـی‌شـود، هرگـاه مجمـوع $\Delta Z'_n$ مقـادیر مثبتی را نشان داد به $\Delta Z'_1$ مقادیر بزرگتری داده می‌شود و زمانی که مجموع $\Delta Z'_n$ منفـی شود، باید به $\Delta Z'_1$ مقادیر کمتری داد. این عملیات آن‌قدر تکرار می‌شود تا مجموع $\Delta Z'_n$ تا حد ممکن به رقم صفر که در عمل مورد استفاده دارد، نزدیک شود.

۷-۱-۵- بیان رابطه‌های تعادل و انباشت نمک به‌صورت هدایت الکتریکی

در مباحث قبل، غلظت نمک آب(C) برحسب میلی‌اکی‌والنـت بـر لیتـر بیـان‌شـده اسـت، راه‌حل معمولی‌تر این است که شوری را به‌صورت هدایت الکتریکی(EC) کـه بـا میـزان غلظت(C) تناسب دارد و به‌شرح زیر بیان می‌شود، ارائه کرد.

$$EC = \frac{C}{۱۲} \qquad (۱۹-۷)$$

که در آن :

EC = هدایت الکتریکی برحسب دسی زیمنس بر متر در ۲۵ درجه سانتی‌گراد و

C = غلظت برحسب میلی‌اکی والنت بر لیتر.

توجه : برای مقادیر شوری کمتر از ۵ دسی‌زیمنس بر متـر، رقـم منـدرج در مخـرج کسـر رابطه (۷-۱۹) را می‌توان ۱۰ درنظر گرفت.

از آنجایی‌که مقدار هدایت الکتریکی نمونه‌های خاک در حالت عصاره اشباع، اندازه‌گیری و گزارش می‌شود، بنابراین بیان رابطه بین این دو کمیت به‌شکل زیر ضروری است:

$$EC_e = \frac{\theta_{fc}}{\theta_e}.EC_{fc} \qquad (۲۰-۷)$$

که در آن θ_{fc} و θ_e به ترتیب مقادیر رطوبت خاک در حالت‌های ظرفیت مزرعه و عصاره اشباع خاک برحسب درصد حجمی می‌باشند.
برای خاک‌های با بافت متوسط(لومی‌شنی، لومی‌سیلتی و لومی‌رسی)، رابطه $\theta_e = ۲\theta_{fc}$ را می‌توان برقرار کرد و بدین‌ترتیب در محدوده توسعه ریشه گیاه نیز همین رابطه به صورت تقریبی قابل تعمیم است. بنابراین با استفاده از رابطه $(C_{fc} = Z'/\theta_{fc})$ می‌توان نوشت:

$$EC_e = ۰/۵\, EC_{fc} = \frac{C_{fc}}{۲٤} = \frac{Z'}{۲٤\,\theta_{fc}} \qquad (۲۱-۷)$$

هرگاه محاسبات با استفاده از مقادیر EC به‌جای مقادیر C انجام شود، مقادیر و بُعد Z' و $\Delta Z'$ به Z و ΔZ به‌شرح زیر تغییر می‌کند.

$$Z = \frac{Z'}{۱۲} \qquad (۲۲-۷)$$

$$\Delta Z = \frac{\Delta Z'}{۱۲} \qquad (۲۳-۷)$$

که بدین‌ترتیب، مقادیر Z و ΔZ به‌صورت حاصل‌ضرب دسی‌زیمنس بر متر و میلی‌متر به‌دست می‌آید، برای سهولت کاربرد، می‌توان عبارت ECmm را به‌جای نشانه‌های صحیح فیزیکی آن، یعنی [(dS/m)mm] به‌کار برد و بدین ترتیب، اگر رابطه تعادل نمک[1] و رابطه انباشت نمک، برحسب هدایت الکتریکی (EC) بیان شوند، آنها را می‌توان به‌صورت زیر نوشت:

$$R^* = (ET - P)\frac{\overline{EC_i}}{f.(۲\overline{EC}_e - \overline{EC}_i)} \qquad (۲۴-۷)$$

$$\Delta Z = \frac{K - LZ_۱}{M} \qquad (۲۵-۷)$$

1- Salt Equilibrium.

در رابطه اخیر:

$$K = I.EC_i - (۱ - f)R^*.EC_i$$

$$L = \frac{f.R^*}{\theta_{fc}}$$

$$M = ۱ + ۰/۵L$$

در رابطه (۷-۲۵) هرگاه θ_{fc}، I و R^* برحسب میلی‌متر بیان شوند(I و R^* به‌صورت مجموع دوره موردنظر منظور می‌شوند)، Z و ΔZ برحسب "ECmm " به‌دست می‌آیند و علاوه بر آن، هدایت الکتریکی رطوبت خاک در حد ظرفیت مزرعه، EC_{fc} به‌شرح زیر خواهد بود:

$$EC_{fc} = \frac{Z}{\theta_{fc}} \qquad (۷-۲۶)$$

به همین ترتیب، هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک را نیز به‌طور تقریبی می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

$$EC_e = \frac{Z}{۲\theta_{fc}} \qquad (۷-۲۷)$$

۷-۱-۶- مثال‌هایی از چگونگی محاسبات

- زمین‌های تحت آبیاری مستمر ، بدون حالت خیز موئینه‌ای

مثالی از کاربرد روابط تعادل و انبارش نمک برای زمین‌ها تحت آبیاری مداوم (مستمر) در جدول (۷-۱) ارائه شده است. این جدول حاوی چهار بخشِ

- اطلاعات پایه‌ای،
- تراوشات عمقی ثابت،
- آبیاری ثابت و
- شوری ثابت

می‌باشد که به تشریح هر بخش پرداخته خواهد شد.

بخش اول: اطلاعات پایه‌ای

ارقام پایه‌ای مورد نیاز و فرضیه‌های به‌کار رفته در این بخش در سطرهای ۱ تا ۷ جدول گفته شده ارائه گردیده است. به‌طوری‌که از مندرجات جدول (۷-۱) استنباط می‌شود، شوری آب آبیاری دارای دامنه نوسانات قابل ملاحظه‌ای است و به‌هرحال کیفیت آن در فصول تابستان و پاییز "نامطلوب" می‌باشد. میانگین وزنی هدایت الکتریکی آب آبیاری بر مبنای مندرجات جدول گفته شده را می‌توان به‌صورت زیر محاسبه نمود.

$$\overline{EC_i} = \frac{\Sigma EC_i(ET-P)}{\Sigma(ET-P)} = ۳/۱$$ دسی زیمنس بر متر

که رقم اخیر به‌عنوان میانگین سالیانه هدایت الکتریکی آب آبیاری کاربردی است. مقادیر سالیانه تراوشات عمقی خالص (R^*) موردنیاز و آب آبیاری سالیانه مؤثر و لازم (I) که به‌ترتیب از روابط (۷-۲۴) و (۷-۱۲) محاسبه شده به‌شرح زیر می‌باشند که موارد در سطرهای ۸ و ۹ جدول ارائه گردیده است.

$$R^* = (ET-P)\frac{EC_i}{f(۲\overline{EC_e} - \overline{EC_i})} = ۵۸۰$$ میلی‌متر (۷-۲۴) مکرر

$$I = ET - P + R^* = ۱۴۱۰$$ میلی‌متر (۷-۱۲) مکرر

جدول (۷-۱)- چگونگی محاسبه بیلان آب و نمک در زمین‌های تحت آبیاری دایم (کلیه نمک‌ها در فاز محلول خاک باقی می‌مانند).

• بخش اول - اطلاعات پایه‌ای													۱
$EC_{e\,max}$ = ۸/۰ ، $\overline{EC_e}$ = ۶/۰ ، بدون خیز مویینه‌ای ، Γ = ۰/۵ ، $EC_e = ۰/۵ \times EC_{fc}$ ، θ_{fc} = ۳۰۰ میلی‌متر												ارقام کلی:	۲
شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر	سال	دوره زمانی	۳
زمین‌های تحت آبیاری گیاهان علوفه‌ای													کاربری زمین	۴
۱۳۰	۱۴۰	۱۵۰	۱۴۰	۱۲۰	۱۰۰	۹۰	۷۰	۷۰	۷۰	۸۰	۱۰۰	۱۲۶۰	ET، میلی‌متر	۵
۲۰	۱۰	۱۰	۱۰	۳۰	۳۰	۴۰	۵۰	۷۰	۶۰	۵۰	۵۰	۴۳۰	P، میلی‌متر	۶
۱۱۰	۱۳۰	۱۴۰	۱۳۰	۹۰	۷۰	۵۰	۲۰	۰	۱۰	۳۰	۵۰	۸۳۰	ET-P، میلی‌متر	۷
۴/۰	۴/۰	۳/۰	۳/۰	۳/۰	۲/۰	۲/۰	۲/۰	۱/۰	۲/۰	۳/۰	۳/۰	۳/۱	ECi، دسی‌زیمنس‌برمتر	۸
• بخش دوم - تراوشات عمقی ثابت ، ΔW = ۰ ، میلی‌متر در ماه R^* = ۴۸-۴۹														۹
۴۹	۴۸	۴۸	۴۹	۴۸	۴۸	۴۹	۴۸	۴۸	۴۸	۴۹	۴۸	۵۸۰	R^*، میلی‌متر	۱۰a
۱۵۹	۱۷۸	۱۸۸	۱۷۹	۱۳۸	۱۱۸	۹۹	۶۸	۴۸	۵۸	۷۹	۹۸	۱۴۱۰	I، میلی‌متر	۱۱a
۴۲۳۴	۳۹۴۶	۳۷۶۲	۳۵۹۵	۳۵۳۹	۳۶۳۸	۳۷۸۸	۴۰۱۵	۴۳۲۵	۴۶۱۶	۴۸۲۹	۵۰۰۰		EC mm .Z_1	۱۲a
+۳۰۶	+۲۸۸	+۱۸۴	+۱۶۷	+۵۶	-۹۹	-۱۵۰	-۲۲۷	-۳۱۰	-۲۸۹	-۲۱۵	-۱۷۱	-۴۶۰	EC mm .ΔZ	۱۳a
۴۵۴۰	۴۲۳۴	۳۹۶۴	۳۷۶۲	۳۵۹۵	۳۵۳۹	۳۶۳۸	۳۷۸۸	۴۰۱۵	۴۳۲۵	۴۶۱۶	۴۸۲۹		EC mm .Z_2	۱۴a
۳۴۴۷	۳۰۹۳	۲۷۹۴	۲۵۴۶	۲۴۰۲	۲۴۰۶	۲۴۵۲	۲۵۶۴	۲۷۵۲	۲۹۰۹	۲۹۸۳	۳۰۰۰		EC mm .Z_1	۱۰b
+۲۵۰	+۳۵۴	+۲۵۹	+۲۴۸	+۱۴۴	-۴	-۴۶	-۱۱۲	-۱۸۸	-۱۵۷	-۷۴	-۱۷	+۶۹۷	EC mm .ΔZ	۱۱b
۳۶۹۷	۳۴۴۷	۳۰۹۳	۲۷۹۴	۲۵۴۶	۲۴۰۲	۲۴۰۶	۲۴۵۲	۲۵۶۴	۲۷۵۲	۲۹۰۹	۲۹۸۳		EC mm .Z_2	۱۲b
۳۸۶۴	۳۵۴۴	۳۳۲۶	۳۱۲۲	۳۰۲۶	۳۰۸۳	۳۱۸۶	۳۳۶۰	۳۶۱۵	۳۸۴۶	۳۹۹۸	۴۱۰۰		EC mm .Z_1	۱۰c
+۲۱۸	+۳۲۰	+۲۱۸	+۲۰۴	+۹۶	-۵۷	-۱۰۳	-۱۷۴	-۲۵۵	-۲۳۱	-۱۵۲	-۱۰۲	-۱۸	EC mm .ΔZ	۱۱c
۴۰۸۲	۳۸۴۶	۳۵۴۴	۳۳۲۶	۳۱۲۶	۳۰۲۶	۳۰۸۳	۳۱۸۶	۳۳۶۰	۳۶۱۵	۳۸۴۶	۳۹۹۸		EC mm .Z_2	۱۲c
۶/۴	۵/۹	۵/۵	۵/۲	۵/۰	۵/۱	۵/۳	۵/۶	۶/۰	۶/۴	۶/۶	۶/۸	۵/۸	ECe،دسی‌زیمنس‌برمتر	۱۳

ادامه جدول (۷-۱)- چگونگی محاسبه بیلان آب و نمک در زمین‌های تحت آبیاری دایم (کلیه نمک‌ها در فاز محلول خاک باقی می‌مانند).

۱۴	۱، میلی‌متر	۱۴۱۰	۱۱۷	۱۱۸	۱۱۷	۱۱۸	۱۱۷	۱۱۸	۱۱۸	۱۱۷	۱۱۸	۱۱۷	۱۱۸
۱۵	ET-P، میلی‌متر		۵۰	۳۰	۱۰	۰	۰	۰	۰	۰	۹۰	۱۳۰	۱۴۰
۱۶	ΔW، میلی‌متر	۰	+۴۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	-۱۳	-۲۲
۱۷	R*، میلی‌متر	۵۸۰	۲۷	۸۸	۱۰۷	۱۱۸	۹۷	۶۸	۴۷	۰	۲۸	۰	۰
۱۸a	EC mm ،Z_1		۳۰۰۰	۳۱۷۳	۲۹۴۵	۲۵۸۱	۲۰۷۳	۱۸۸۸	۱۸۴۶	۱۸۸۸	۱۸۸۸	۲۱۰۸	۲۴۵۹
۱۹a	EC mm ،ΔZ	+۷۵۳	+۱۷۳	-۲۲۸	-۳۶۴	-۴۰۸	-۱۸۴	-۴۲	+۴۲	+۲۲۰	+۳۵۱	+۳۵۱	+۳۵۴
۲۰a	EC mm ،Z_2		۳۱۷۳	۲۹۵۴	۲۵۸۱	۲۰۷۳	۱۸۸۸	۱۸۴۶	۱۸۸۸	۲۷۸۱	۲۷۵۳	۲۹۳۲	۳۲۸۳
۱۸b	EC mm ،Z_1		۵۰۰۰	۵۰۸۵	۴۵۹۵	۳۶۶۱	۳۳۰۵	۲۹۳۵	۲۷۸۱	۲۷۵۳	۲۷۸۱	۲۹۳۲	۳۲۸۳
۱۹b	EC mm ،ΔZ	-۴۲۳	+۸۵	-۴۹۱	-۶۳۳	-۶۵۶	-۳۷۰	-۱۵۴	-۲۸	+۱۷۹	+۳۵۱	+۳۵۴	+۴۶۸
۲۰b	EC mm ،Z_2		۵۰۸۵	۴۵۹۴	۳۹۶۱	۳۳۰۵	۲۹۳۵	۲۷۸۱	۲۷۵۳	۲۹۳۲	۳۲۸۳	۳۶۳۷	۴۱۰۵
۱۸c	EC mm ،Z_1		۴۲۰۰	۴۳۲۰	۳۹۳۴	۳۴۰۹	۲۸۵۱	۲۵۴۹	۲۴۳۶	۲۴۳۴	۲۶۲۸	۲۹۷۹	۳۳۳۳
۱۹c	EC mm ،ΔZ	+۷۳	+۱۲۰	-۳۸۶	-۵۲۵	-۵۵۸	-۳۰۲	-۱۱۳	-۲	+۱۹۴	+۳۵۱	+۳۵۴	+۴۶۸
۲۰c	EC mm ،Z_2		۴۳۲۰	۳۹۳۴	۳۴۰۹	۲۸۵۱	۲۵۴۹	۲۴۳۶	۳۴۲۴	۳۶۲۸	۲۹۷۹	۳۳۳۳	۳۸۰۱
۲۱	ECe،دسی‌زیمنس‌برمتر	۵/۵	۷/۲	۷/۴	۶/۷	۵/۸	۴/۹	۴/۳	۴/۱	۴/۱	۴/۵	۵/۱۰	۵/۶

● بخش چهارم – شوری ثابت: $EC_{fc} = 12/0$ ، دسی زیمنس بر متر $ECe = 6/0$ ، دسی زیمنس بر متر

۲۳	R*، میلی‌متر	۵۹۳	۳۳	۲۰	۴	۰	۸	۲۰	۲۸	۶۰	۸۷	۱۳۰	۱۱۰
۲۳	۱، میلی‌متر	۱۴۲۳	۸۳	۵۰	۱۴	۰	۲۸	۷۰	۹۸	۱۵۰	۲۱۷	۲۳۳	۲۲۰

● بخش سوم – آبیاری ثابت: میلی‌متر در ماه $I = 117-118$

مقادیر محاسبه شده ($R^* = ۵۸۰$ mm و $I = ۱۴۱۰$ mm) را می‌توان با روش‌های متفاوتی در ماههای مختلف سال توزیع نمود. بخش‌های دوم، سوم و چهارم سه روش یا راه‌کار نظری را در این خصوص ارائه می‌دهد.

بخش دوم: تراوشات عمقی ثابت

در این روش توزیع آب آبیاری کاربردی به‌گونه‌ای به‌انجام می‌رسد که میزان تراوشات عمقی خالص (R^*) و ماهیانه به‌طور تقریبی ۴۹-۴۸ میلی‌متر می‌باشد (سطر ۸ جدول). از آن‌جایی که حجم آب عرضه شده برای هر ماه به‌طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر از مقدار هدررفت به‌وسیله تبخیر و یا تبخیر و تعرّق است (مقایسه ارقام مندرج در سطرهای ۶ و ۹ جدول) بنابراین تغییرات ماهیانه میزان رطوبت در محدوده توسعه ریشه (ΔW) را می‌توان برابر با صفر تلقی نمود. اعماق آبی که باید به‌کار برده شود (سطر ۹ جدول) در این حالت با استفاده از رابطه (۷-۱۲) محاسبه گردیده است. برای محاسبه میزان افزایش نمک ماهیانه (ΔZ)، ضرورت دارد تا میزان شوری اولیه ($Z_۱$) محدوده توسعه ریشه را تخمین و یا فرض نمود. این اقدام برمبنای دلایل زیر به‌انجام می‌رسد.

طی دوره رشد و نمو گیاه مقدار متوسط هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (EC_e)، نباید از ۶/۰ دسی‌زیمنس بر متر (dS/m) تجاوز نماید تا بدین‌ترتیب شرایط اگرونومیکی مطلوب برای رشد و نمو گیاه فراهم باشد.

به‌دلیل این‌که $EC_{fc} \leq ۱۲$ (موضوع رابطه ۷-۲۱) در نظر گرفته می‌شود در نتیجه آن $\overline{Z} = \overline{EC}_{fc}.\theta_{fc} \leq ۱۲ \times ۳۰۰$ برابر با ۳۶۰۰EC.mm حاصل می‌گردد. از آنجایی که محاسبات از مهرماه آغاز می‌شود، در خاتمه فصل خشک (سال) می‌توان مقدار اولیه $Z_۱$ را بیشتر از $\overline{Z}_۱$ منظور نمود (به عنوان مثال $Z_۱ = ۵۰۰۰$ EC.mm، سطر ۱۰a در جدول) با کاربرد این رقم، مقدار تغییرات انبارش شوری (ΔZ) طی مهرماه برابر با ۱۷۱- قابل محاسبه خواهد بود. (سطر ۱۱a جدول مورد نظر، هم‌چنین به متن رجوع شود).

$$L = \frac{f.R^*}{\theta_{fc}} = \frac{۰/۵ \times ٤٨}{۳۰۰} = ۰/۰۸$$

$$M = ۱ + ۰/۵L = ۱ + ۰/۵ \times ۰/۰۸ = ۱/۰٤$$

$$K = I.EC_i - (۱ - f)R^*.EC_i = ۹۸ \times ۳ - (۱ - ۰/۵) \times ٤٨ \times ۳ = ۲۲۲$$

$$\Delta Z = \frac{K - L.Z_۱}{M} = \frac{۲۲۲ - ۰/۰۸ \times ۵۰۰۰}{۱/۰٤} = -۱۷۱$$

مقدار انبارش نمک در اواخر ماه مهر ($Z_۱$، سطر 12a جدول) برابر ۴۸۲۹=۱۷۱-۵۰۰۰ خواهد بود. این رقم (۴۸۲۹) در مرحله بعد به‌عنوان میزان انبارش نمک اولیه $Z_۱$ ماه آبان محسوب می‌گردد (سطر 10a جدول)، با تکرار محاسبات به‌همین منوال، میزان $Z_۲$ در اواخر ماه شهریور برابر ۴۵۴۰ ($\Sigma\Delta Z$= -۴۶۰) خواهد شد. رقم اخیر یعنی ۴۵۴۰ با رقم اولیه فرضی یا تخمینی یعنی ۵۰۰۰= $Z_۱$ برای ماه مهر هم‌خوانی ندارد و این بدان معنی است که مقدار تخمین اولیه بسیار زیاد بوده است.

بار دیگر با انتخاب $Z_۱$ برابر با ۳۰۰۰ (سطر 10b) محاسبات را به‌انجام رسانیده و این بار $Z_۲$=۳۶۹۷ (سطر 12b) برای ماه شهریور مقدار $\Sigma\Delta Z$ = +۶۹۷ حاصل می‌گردد که نمایانگر انتخاب مقدار کمی برای $Z_۱$ (برابر با ۳۰۰۰) می‌باشد. با اعمال میان‌یابی خطی بین جفت‌های متناظر (۴۵۴۰-۵۰۰۰) و (۳۶۹۷-۳۰۰۰) به‌نحوی که منتج به یافتن یک جفت مساوی ارقام گردد مقادیر موردنظر(۴۱۰۰ و ۴۱۰۰) حاصل می‌شود. با کنترل مقدار $Z_۱$=۴۱۰۰ (برای ماه مهر، سطر 10c جدول) و با تکرار محاسبات انبارش نمک، منتج به حصول $Z_۲$= ۴۰۸۲ (برای ماه شهریور، سطر 12c جدول) حاصل می‌شود که به اندازه کافی به رقم اولیه انتخاب شده (۴۱۰۰) نزدیک می‌باشد.

هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (EC_e) محاسبه شده بر پایه رابطه (۷-۲۷) دارای دامنه تغییراتی بین ۶/۸ (در ابتدای ماه مهر، سطر ۱۳ جدول) و ۵/۰ (در ابتدای اردیبهشت ماه) دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد که کمتر از حداکثر مجاز تعیین شده یعنی EC_e =۸/۰ دسی‌زیمنس بر متر (سطر ۱ جدول) است. مقدار متوسط EC_e برابر با ۵/۸ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد که از مقدار حداکثر لازم برای شرایط خاص و مطلوب اگرونومیکی یعنی $\overline{EC_e}$ = ۶/۰ دسی‌زیمنس بر متر کمتر است.

حالت تراوشات عمقی «ثابت» نیاز به کاربرد مقادیر(عمق یا ارتفاع) آب آبیاری به‌گونه‌ای دارد که مقادیر آن از یک ماه به ماه بعد به‌طور قابل ملاحظه‌ای متغییر است و بدین دلیل تقاضای تأمین آب به وسیله شبکه آبیاری زیاد می‌باشد. به‌دلیل آن‌که مقادیر تراوشات عمقی در طول سال به‌طور تقریبی یکنواخت (برابر) می‌باشد، این روش (حالت) نیاز به سامانه زهکشی کمی دارد.

بخش سوم: آبیاری ثابت

کل میزان آب موردنیاز آبیاری که برابر با ۱۴۱۰ میلی‌متر در سال می‌باشد، در این روش به گونه‌ای توزیع می‌گردد که سهم آب مورد نیاز آبیاری ماهیانه حدود ۱۱۸–۱۱۷ میلی‌متر در ماه خواهد بود. در فصل زمستان این مقدار آب بیشتر از $(ET-P)$ می‌باشد، بنابراین مقادیری آب اضافی وجود خواهد داشت (سطرهای ۱۴ و ۱۵ جدول) در فصل تابستان، که از ماه خرداد آغاز می‌گردد مقادیر آب کاربردی کمتر از $(ET-P)$ خواهد بود. بنابراین بهتر است که محاسبه بیلان آبی از این ماه شروع گردد. در این ماه ۱۳− = $I-(ET-P)$ میلی‌متر است. بدین دلیل بروز هیچ‌گونه تراوشات عمقی نمی‌تواند متصور باشد و میزان کمبود رطوبت از مقدار ذخیره شده در خاک تأمین می‌گردد (ΔW =۱۳mm، سطر ۱۶ جدول). در پایان ماه مرداد کل میزان رطوبت مصرف شده از خاک برابر با ۴۸ میلی‌متر برآورد می‌گردد [(۴۸−)=(۱۳−)+(۲۲−)+۱۳−)، علامت منفی به معنی کاهش میزان رطوبت انبارش شده در خاک است]. در ماه شهریور مازاد آب آبیاری کاربردی یعنی $I-(ET-P)$=۸mm مقدار کمبود رطوبت انبارش شده در خاک را به ۴۰ میلی‌متر می‌رساند(۴۰− =۸+۴۸−) در ماه مهر مازاد آب آبیاری مصرفی ۶۷ میلی‌متر می‌باشد که بخشی از آن(۴۰ میلی‌متر) صرف جبران کمبود رطوبت انبارش خاک و مابقی آن(یعنی ۲۷ میلیمتر، سطر ۱۷ جدول) به‌صورت تراوشات عمقی از زیر محدوده توسعه ریشه‌ها خارج می‌گردد. از انتهای مهرماه تا اواخر اردیبهشت‌ماه حالت رطوبتی خاک در حد ظرفیت مزرعه است و میزان تراوشات عمقی خالص (R^*) مساوی با $I-(ET-P)$ می‌باشد که دارای مقادیر مثبت است.

همانند آنچه در بخش دوم بیان گردید، بیلان نمک ماهیانه از طریق رابطه انبارش نمک محاسبه می‌گردد. کاربرد مقدار اولیه Z_1 = ۳۰۰۰ در مهر ماه (سطر ۱۸a جدول) منتج به

حصول مقدار نهایی Z_2=۳۷۵۳ در ماه شهریور می‌گردد (سطر ۲۰a جدول)، که در نتیجه آن مقدار تخمینی اولیه Z_1=۳۰۰۰ تقریبی بسیار کم می‌باشد. انتخاب مقدار اولیه Z_1=۵۰۰۰ در مهر ماه (سطر ۱۸b مندرج در جدول) نیز منجر به حصول مقدار نهایی Z_2=۴۵۷۷ در ماه شهریور می‌گردید (سطر ۲۰b ، جدول)، که در نتیجه آن مقدار تخمینی اولیه Z_1=۵۰۰۰۰ برآوردی زیادتر از حد مطلوب بوده است، کاربرد میان‌یابی خطی همانند آنچه در بخش دوم اعمال گردید، منتج به دست‌یابی به Z_1 = ۴۲۰۰ خواهد شد. بررسی و کنترل نهایی Z_1=۴۲۰۰ موجب حصول مقدار نهایی Z_2=۴۲۷۳ می‌شود که برای امور عملی به اندازه کافی با رقم تخمینی (برآورد اولیه یعنی ۴۲۰۰) هم‌خوانی نزدیک دارد. ارقام شوری عصاره اشباع خاک (EC_e) محاسبه شده با استفاده از رابطه (۷-۲۷) نشان دهنده آن است که مقادیر محاسبه شده دارای دامنه تغییراتی از ۷/۴ (در آبان‌ماه) تا ۴/۱ (در فروردین‌ماه) دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد، این تغییرات در مقایسه با بخش دوم، تراوشات عمقی ثابت زیادتر است لیکن در هر حال در محدوده‌های تعیین شده (از نظر شوری) می‌باشند.

از دیدگاه طراحی سامانه آبیاری، توزیع منظم آب آبیاری دارای مزیت‌های خاصی است. تراوشات عمقی، به‌هرحال محدود به ماه‌های فصل زمستان می‌باشد که مقدار حداکثر آن (R^*=۱۱۸ میلی‌متر در دی ماه)، در مقایسه با بخش قبلی یعنی تراوشات عمقی ثابت بیشتر است، بنابراین نیاز به داشتن سامانه زهکشی متراکم‌تری می‌باشد.

بخش چهارم: شوری ثابت

در این حالت، مقدار شوری ثابت عصاره اشباع خاک در حد EC_e=۶/۰ دسی‌زیمنس بر متر یا EC_{fc} = ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر برای هر ماه در نظر گرفته می‌شود. احتیاجات توامان آبیاری و تراوشات عمقی (محاسبه شده از روابط ۷-۱۲و ۷-۲۴) در زمستان کم، لیکن در فصل تابستان زیاد است. به‌عنوان مثال در مردادماه این مقادیر به‌ترتیب به ۲۶۰ و ۱۳۰ میلی‌متر بالغ می‌گردند که این ارقام در مقایسه با بخش‌های دوم (تراوشات عمقی ثابت) و سوم (آبیاری ثابت) بیشتر می‌باشند، بدین دلیل این راه‌کار به‌طور قابل ملاحظه‌ای غیرعملی می‌باشد.

بحث درباره نتایج ارائه شده در جدول (۷-۱)

اقدام به عملیات آبیاری در عمل، هرگز به‌حالت‌های آبیاری ثابت و یا تراوشات عمقی ثابت که در مباحث قبل گفته شد، نمی‌باشد. در اکثر شرایط در عمل بخصوص هرگاه طراحی روش‌های آبیاری کرتی(نواری)، جویچه‌ای(جوی و پشته) و تعیین ظرفیت کانال‌ها مطرح باشد با کاربرد عمق معینی آب برای آبیاری و به‌تناوب که عامل اخیر (تناوب بین دو دوره آبیاری) تابعی از تبخیر و تعرّق، نیازهای ویژه گیاه مورد زراعت، میزان تخلیه مجاز (رطوبت انبارش یافته در نیمرخ خاک) و سایر عوامل می‌باشد، مرسوم است. بنابراین محاسبات مرتبط با بیلان آب و نمک در محدوده توسعه ریشه پیچیده‌تر از آن است که در جدول گفته شده، تشریح گردید.

عامل اثرگذار دیگر در این مورد، تلفات غیرقابل اجتنابِ اجرای عملیات آبیاری در مزرعه است، به‌طوری‌که میزان هدررفت(تلفات) در سطح زمین‌های مزرعه توزیع یکنواختی ندارد. در بخشی از زمین تراوشات عمقی ممکن است از نیاز آبشویی بیشتر و در سایر بخش‌های زمین شرایط متفاوت و بالعکس آن وجود داشته باشد. به‌هرحال، هرگاه میزان تلفات غیرقابل اجتناب کاربرد آب آبیاری در مزرعه بیشتر از نیاز آبشویی باشد، در این شرایط نیازی به کاربرد مقادیر اضافی آب آبیاری برای آبشویی نمک‌های محلول در نیمرخ خاک (محدوده توسعه ریشه‌ها) وجود نخواهد داشت.

به‌رغم موارد بیان شده و سایر الزامات (لازم به رعایت)، در عمل ممکن است به شرایطی نزدیک شد که رعایت حالت‌های تراوشات عمقی ثابت و یا آبیاری ثابت الزامی گردد. در مواردی که مسئله کمبود آب آبیاری مطرح باشد، همانند آنچه در مناطق خشک و نیمه خشک وجود دارد، برنامه‌ریزی و عملیات آبیاری می‌تواند بر مبنای حالت(گزینه) کاربرد مقادیر ثابت آب آبیاری مورد توجه قرار گیرد. در این شرایط عملیات زهکشی به طور عمده مرتبط با فصول سرد و یا مرطوبی خواهد بود که در این ادوار شرایط طبیعی برای آبشویی نمک‌های محلول نیز مطلوب و مناسب می‌باشد. هرگاه مسئله زهکشی در منطقه‌ای که آب آبیاری قابل استفاده و مصرف در آن به میزان قابل ملاحظه‌ای فراهم بوده و راندمان کاربرد و مصرف آب آبیاری نیز نامطلوب(کم یا پایین) باشد، در این شرایط برنامه‌ریزی عملیات آبیاری به طور معمول منتج به دست‌یابی به حالت (گزینه) تراوشات عمقی ثابت خواهد شد.

- اراضی تحت آبیاری فصلی، با خیزموئینه‌ای در دوره آیش

در اکثر شرایط مزرعه مورد زراعت آبی نوعی گیاه پس از اتمام دوره زراعی با یک دوره آیش به همراه است که بدین ترتیب سطح و نیمرخ خاک (تا عمق معینی) خشک گردیده و رطوبت خاک از بخش زیرین محدوده توسعه ریشه‌ها به‌وسیله نیروی موئینه‌ای به سمت بالا (حرکت پایین به بالا) حرکت می‌نماید. در دوره آیش زمین، تبخیر تحت تأثیر توامان عوامل آب و هوایی(اقلیمی) و توانمندی خاک برای از دست دادن رطوبت (آب) به اتمسفر می‌باشد.

به‌عنوان یک قاعده کلی، میزان تبخیر(از سطح خاک) به‌طور قابل ملاحظه‌ای با خشک شدن لایه‌های بالایی نیمرخ خاک کاهش می‌یابد(اثرات مالچی). از آنجایی که رشد و نمو علف‌های هرز در سطح مزرعه موجب کاهش قابل توجه رطوبت موجود در نیمرخ خاک است بدین دلیل اجرای عملیات خاک‌ورزی به‌منظور حفظ و نگهداری رطوبت خاک، هم‌چنین جلوگیری از فرایند «گرایش به شوری خاک» به وسیله خیز موئینه‌ای رطوبت بسیار با اهمیت می‌باشد.

هرگاه ذخیره آب زیرزمینی از منابع دیگری تغذیه نگردد(نشست آب زیرزمینی) خیز موئینه‌ای به‌طور معمول منحصر به هدررفتی برابر ۵۰-۲۰ میلی‌متر طی دوره آیش حتی در شرایط آب و هوایی گرم می‌گردد. خشک شدن نیمرخ خاک، به‌هرحال در این فرایند بسیار مؤثر است به طوری‌که در شرایطی مقدار هدر رفت رطوبت انبارش شده در نیمرخ خاک از طریق تبخیر به‌وسیله خیز موئینه‌ای حتی به ۱۰۰ تا ۲۰۰ میلی‌متر هم می‌رسد(در دوره آیش). بهترین روش برای دست‌یابی به ارقام چگونگی خشک شدن خاک و اثرات خیز موئینه‌ای در مناطق محدود، نمونه‌برداری از خاک در ادوار شروع و خاتمه دوره آیش زمین است. در واقع میزان هدررفت رطوبت خاک طی دوره آیش را باید به عنوان تراوشات عمقی منفی تلقی نمود. برای این ایام (دوره آیش) کاربرد رابطه (۷-۲۵) معتبر می‌باشد، که در آن I و EC_i برابر با صفر خواهند بود(به‌دلیل عدم اجرای عملیات آبیاری) و R^* مقدار عددی منفی می‌باشد. هم‌چنین برای دوره آیش با حالت خیز موئینه‌ای مقدار (f) را می‌توان برابر با واحد انتخاب نمود.

جدول (۷-۲) شرایطی را که در آن خاک در فصل زمستان تحت زراعت آبی و پس از آن طی ماه‌های فروردین تا شهریور در حالت آیش باقی می‌ماند را تشریح می‌نماید. در این

حالت میزان تلفات (هدررفت) رطوبت موجود در نیمرخ خاک برابر با ۱۰۰ میلی‌متر فرض گردیده (حالت خشک شدن) و مقدار خیز موئینه‌ای معادل ۴۰ میلی‌متر منظور شده است.
موارد بیان شده به‌همراه میزان بارندگی برابر با ۱۱۰ میلی‌متر در دوره گفته شده موجب حصول ۲۵۰ میلی‌متر به‌عنوان تبخیر و تعرق می‌گردد. میزان تراوشات عمقی مورد نیاز سالیانه با کاربرد رابطه (۷-۲۴) از طریق استفاده از میانگین وزنی EC_i (۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر) به‌عنوان رقم پایه‌ای منتج به برآورد مقدار تراوشات عمقی معادل ۱۹۱ میلی‌متر می‌شود. از آنجایی که ۲۱۰ = $(ET - P)$ میلی‌متر در سال است. نیاز آب آبیاری ۴۰۱ =۲۱۰+۱۹۱ میلی‌متر خواهد بود. این مقدار (۴۰۱ میلی‌متر) را می‌توان به صورت ۱۰۱ میلی‌متر برای مهرماه و ۶۰ میلی‌متر برای سایر ماه‌های فصل زمستان تقسیم‌بندی نمود. این اقدام در راستای عملیات آبیاری متعارف می‌باشد که در آن کاربرد مقدار قابل ملاحظه‌ای آب (آبیاری) قبل از کشت (پیش آبیاری) به‌منظور مرطوب نمودن خاک و تخلیه یا دفع نمک‌های انباشته شده در نزدیکی سطح زمین است.

جدول (۷-۲)- بیلان آب و نمک برای زمین‌های تحت آبیاری فصلی با حالت خیز موئینه‌ای در دوره آیش.

۱	ارقام کلی:	میلی‌متر	θ_{fc} = ۳۰۰	،	دسی زیمنس بر متر	$\overline{EC_e}$ = ٤/٠	،	$\overline{EC_{fc}}$ = ۸/۰			
۲	دوره زمانی	سال	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین تا شهریور
۳	کاربری زمین				زراعت فارياب غلات				
۴	ET، میلی‌متر	۶۴۰	۵۵	۸۰	۷۰	۷۰	۷۰	۴۵	۲۵۰
۵	P، میلی‌متر	۴۳۰	۵۰	۵۰	۶۰	۷۰	۵۰	۴۰	۱۱۰
۶	ET-P، میلی‌متر	۲۱۰	۵	۳۰	۱۰	۰	۲۰	۵	۱۴۰
۷	ECi.دسی‌زیمنس‌برمتر	۲/۵	۳/۰	۳/۰	۲/۰	۱/۰	۲/۰	۲/۰	–
۸	f، بدون بعد	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۱/۰
۹	I، میلی‌متر	۴۰۱	۱۰۱	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۰
۱۰	R^*، میلی‌متر	۱۹۱	۰	۲۶	۵۰	۶۰	۴۰	۵۵	-۴۰
۱۱	ΔW_r، میلی‌متر	۰	+۹۶	+۴	۰	۰	۰	۰	-۱۰۰
۱۲	ΔW_S، میلی‌متر	۰	۰	+۲۶	+۱۴	۰	۰	۰	-۴۰
۱۳	D_r، میلی‌متر	۱۹۱	۰	۰	۳۶	۶۰	۴۰	۵۵	۰
۱۴a	EC mm ،Z_1		۲۰۰۰	۲۳۰۳	۲۳۴۴	۲۲۲۴	۲۰۴۱	۱۹۸۶	۱۸۷۴
۱۵a	EC mm ،ΔZ	+۱۴۲	+۳۰۳	+۴۱	-۱۲۰	-۱۸۳	-۵۵	-۱۱۲	+۲۶۸
۱۶a	EC mm ،Z_2		۲۳۰۳	۲۳۴۴	۲۲۲۴	۲۰۴۱	۱۹۸۶	۱۸۷۴	۲۱۴۲
۱۴b	EC mm ،Z_1		۴۰۰۰	۴۳۰۳	۴۲۵۹	۳۹۸۷	۳۶۳۷	۳۴۷۸	۳۲۳۶
۱۵b	EC mm ،ΔZ	-۳۰۲	+۳۰۳	-۴۴	-۲۷۲	-۳۵۰	-۱۵۹	-۲۴۲	+۴۶۲
۱۶b	EC mm ،Z_2		۴۳۰۳	۴۲۵۹	۳۹۸۷	۳۶۳۷	۳۴۷۸	۳۲۳۶	۳۶۹۸
۱۴c	EC mm ،Z_1		۲۶۰۰	۲۹۰۳	۲۹۱۹	۲۷۵۴	۲۵۲۱	۲۴۳۵	۲۲۸۴
۱۵c	EC mm ،ΔZ	+۱۱	+۳۰۳	+۱۶	-۱۶۵	-۲۳۳	-۸۶	-۱۵۱	+۳۲۷
۱۶c	EC mm ،Z_2		۲۹۰۳	۲۹۱۹	۲۷۵۴	۲۵۲۱	۲۴۳۵	۲۲۸۴	۲۶۱۱
۱۷	ECe ، دسی زیمنس بر متر	۴/۴	۴/۳	۴/۸	۴/۹	۴/۶	۴/۲	۴/۱	۳/۸

در اینجا لازم است که تفاوت بین خشک شدن نیمرخ خاک در منطقه توسعه ریشه (ΔW_r) و خشک گردیدن خاک لایه زیرین (ΔW_s) مورد تذکر قرار گیرد. زیرا در مورد دوم فرض می‌گردد که این پدیده در حدفاصل مرز پایینی منطقه توسعه ریشه گیاه تا سطح آب زیرزمینی به‌وقوع می‌پیوندد.

هرگاه به سطح مزرعه (خاک) آب افزوده شود، فرض می‌گردد که ابتدا ذخیره میزان رطوبتی خاک در منطقه توسعه ریشه تأمین می‌شود و هرگاه مقدار رطوبت خاک در این منطقه به حد ظرفیت مزرعه رسید، پس از آن اعماق زیرین نیمرخ خاک مرطوب می‌شوند. در جریان مهرماه تمامی مقادیر آب اضافی آبیاری افزودن بر تبخیر و تعرّق یعنی $I-(ET-P)=۹۶$ میلی‌متر، صرف تأمین میزان ذخیره رطوبت محدوده توسعه ریشه گیاه می‌گردد ($\Delta W_r=+۹۶$، سطر ۱۱ جدول). در آبان ماه مقادیر آب آبیاری اضافی و افزون بر تبخیر و تعرّق $I-(ET-P)=۳۰$ میلی‌متر، صرف جبران بخشی از ذخیره رطوبت خاک در محدوده توسعه ریشه گیاه می‌شود (تا حد ظرفیت مزرعه یعنی ۴ میلی‌متر و باقیمانده آن یعنی ۲۶ میلی‌متر میزان ذخیره لایه‌های زیرین نیمرخ خاک را تأمین می‌نماید). در شرایط بیان شده فقط در آذرماه فرایند زهکشی آغاز می‌گردد هرگاه مقدار D_r به‌عنوان زه‌آب (آب زهکشی) منظور گردد، آنگاه $D_r=I-(ET-P)-\Delta W_s=۶۰-۱۰-۱۴=۳۶$ میلی‌متر خواهد بود.

با کاربرد رابطهٔ (۷-۲۵) بیلان ماهیانه نمک قابل محاسبه خواهد بود که در حالت شروع در مهرماه مقادیر $Z_1=۲۰۰۰$ و $Z_1=۴۰۰۰$ که در این حالت در شهریور $Z_2=۲۱۴۲$ و $Z_2=۳۶۹۸$ بدین ترتیب حاصل خواهند شد. (سطرهای ۱۴ تا ۱۶ جدول). میان‌یابی خطی و کنترل محاسبات منتج به رقم $Z_1=۲۶۰۰$ می‌گردد که برای شروع میزان شوری مقدار بسیار مناسبی است.

با استفاده از رابطه (۷-۲۷) برای محاسبه هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک، موجب دست‌یابی به مقادیر ECe متغییر ۴/۱ تا ۴/۹ خواهد شد که مقادیر قابل قبولی می‌باشند. هرچند میزان متوسط سالیانه آن (ECe) برابر با ۴/۴ دسی‌زیمنس بر متر حاصل می‌گردد که کمی از رقم مطلوب (یعنی ۴ دسی‌زیمنس بر متر) بیشتر است. این پیامد نتیجه فرض به کار رفته در منظور نمودن مقدار f زیادتر در دوره آیش و در مقایسه با دوره زراعت گیاه می‌باشد (که مقادیر به‌کار رفته به ترتیب f=۱ و f=۰/۵ بوده است). واقعیتی که در محاسبه

بیلان آب و نمک با کاربرد رابطه (۷-۲۴) منظور نگردیده و میزان آب لازم برای آبشویی نمک‌های محلول در مراحل محاسبات به وسیله آن رابطه محاسبه می‌گردد.

۷-۲- نیاز آبشویی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک‌ها و نیاز اصلاحی زمین‌ها

۷-۲-۱- کلیات

آب‌های مورد مصرف در عملیات آبیاری، دارای مقادیر مختلف و انواع متفاوت نمک‌های محلول می‌باشند که مقدار و نوع نمک‌ها از منبعی به منبع دیگر و تا حدی از زمانی به زمان دیگر، تغییر می‌کند. در اثر آبیاری‌های متوالی، آب خاک به‌وسیله گیاهان و فرایند تبخیر مصرف می‌شود و نمک‌های محلول و افزوده شده، در نیمرخ خاک باقی می‌ماند. به‌طور نظری، اگر در نظر باشد که زمین‌های فاریاب به‌صورت بارده و حاصلخیز باقی بمانند، باید از تمرکز مستمر نمک‌های محلول در نیمرخ خاک جلوگیری شود. این کار از راه استفاده از مقادیر آب اضافی (افزون بر نیاز آبی گیاه)، عملی است و از این راه می‌توان بیلان نمک را در محدوده رشد و توسعه ریشه گیاه(هان) تنظیم کرد، که با این اقدام، عملکرد مطلوب گیاهان تضمین می‌شود.

در عمل، تعیین مقدار این آب دشوار است، چرا که مقدار آن با عوامل متغییری مانند مقدار و نوع نمک در آب آبیاری، حد تحمل گیاه مورد نظر به شوری، بازده کاربرد آب در مزرعه برای تأمین نیاز آبی گیاه و آبشویی نمک‌های محلول خاک در ارتباط است.

موضوع مهم دیگر این است که آیا ضرورت دارد که تنظیم بیلان نمک در محدوده توسعه ریشه گیاه، پی‌درپی و پیوسته انجام شود و یا این‌که اجازه داده شود مقدار نمک تا حد مقاومت گیاه به شوری در خاک افزایش یافته و سپس با عملیات اصلاحی خاک، مقدار نمک‌های تراکم یافته تا حد مطلوب مقاومت گیاه به شوری کاهش داده شود. آزمایشگاه شوری ایالات متحده[1] نیاز آبشویی (LR) را به‌صورت کسری از آب (افزون بر نیاز آبی گیاه) تعریف کرده است که ضرورت دارد این میزان آب از محدوده توسعه ریشه گیاهان عبور کرده و نمک‌های محلول را آبشویی و در حد موردنظر تنظیم کند. رابطه بیان‌شده بدین منظور، نسبت هدایت الکتریکی آب آبیاری به هدایت الکتریکی آب زهکشی (زه‌آب)

1- United States Salinity Laboratory (USSL)

است و بدین ترتیب هدایت الکتریکی آب زهکشی، مترادف با هدایت الکتریکی (شاخص شوری) که گیاه می‌تواند آن را تحمل نماید، تقریب می‌گردد.

رابطه بالا، براساس فرض‌های متعدد به‌دست آمده است که عبارتند از اینکه، این رابطه (نیاز آبشویی) فقط در شرایطی کاربرد مؤثر دارد که حالت جریان همگام وجود داشته باشد و یا اینکه دوره زمانی طولانی‌مدت موردنظر باشد. افزون بر این فرض شده است که بیشترین غلظت نمک در نیمرخ خاک، در بخش زیرین منطقه توسعه ریشه گیاه قرار داشته باشد و استفاده دوره‌ای از آب آبیاری به‌گونه‌ای است که شرایط لازم را برای رفع نیاز آبی گیاه، حتی قبل از اعمال نیاز آبشویی فراهم می‌آورد و به‌کارگیری کسری افزون بر این، متضمن آبشویی نمک‌های محلول از محدوده توسعه ریشه گیاه موردنظر است. ضمن آنکه در شرایط کمبود بارندگی مؤثر، باید موارد جذب نمک به‌وسیله گیاهان، رسوب نمک‌های محلول در خاک نیز در نظر گرفته شود که اثر معنی‌داری بر نیاز آبشویی نمک-های محلول در نیمرخ خاک نداشته باشد. بدین ترتیب نتیجه می‌شود که هرگاه مقادیر قابل ملاحظه‌ای آب حاصل از بارندگی برای عبور از ستون خاک وجود داشته باشد، باید اصلاحاتی در رابطه برآورد آب آبشویی مورد نیاز انجام گیرد.

به‌هرحال، گاهی ممکن است نمک در خاک رسوب کند و یا به‌وسیله گیاهان جذب شود، اگرچه تاکنون اقدامات کمی برای لحاظ کردن این کمیت(جذب نمک به‌وسیله گیاه) از نظر مقدار و اهمیت انجام شده است، بیلان نظری که بر مبنای آن نیاز آبشویی مطرح می‌گردد، می‌تواند برای یک دوره آبیاری، یک فصل زراعی و یا یک دوره زمانی متوسط و طولانی، کاربرد داشته باشد. بنابراین در درازمدت، باید به موارد بحرانی در ارتباط با حد تحمل گیاه به شوری، توجه خاص شود، بدین‌ترتیب باید اقرار کرد که کاربرد هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک برای بیان تقریبی میزان هدایت الکتریکی آب زهکشی، برآورد دقیقی نیست.

از سوی دیگر، کاربرد فرض همگام بودن جریان آب در خاک بدین معنی است که آب حاوی نمک‌های محلول که وارد خاک می‌شود، ضمن عبور از افق‌های نیمرخ خاک، غلیظ شده و با غلظتی برابر با حد تحمل گیاه به شوری، از محدوده توسعه ریشه گیاه خارج می‌شود. بدین‌دلیل واقعیت این است که در دوره‌های زودگذر، عبور آب از نیمرخ خاک، معیار مناسبی برای آبشویی نمک‌ها از نیمرخ خاک و از محدوده توسعه ریشه گیاه است و

شرایط بنیان‌شده پایدار و یا همگام بودن حالت جریان آب در ستون خاک، معیار مناسبی نیست.

اصلاح خاک‌های شور و سدیمی، حتی در زمان حاضر هنوز به بررسی‌های مزرعه‌ای نیاز دارد. هرچند به‌طور غیردقیق و تقریبی بیان می‌شود که برای آبشویی نمک‌های محلول لایه خاکی به ضخامت (Ds) همان عمق یا ارتفاع معادل آب آبشویی برای نیاز اصلاحی خاک‌های بسیار شور مورد نیاز می‌باشد.

به‌طورکلی، عملیات اصلاحی خاک‌ها شامل آبشویی نمک‌های محلول و سدیم تبادلی در محدوده توسعه ریشه گیاه است، اگرچه در عمل برای رسیدن به این نتیجه مقادیر قابل ملاحظه‌ای آب به‌طور نسبی بدین‌منظور و به‌عنوان آب آبشویی به‌کار می‌رود و یا ممکن است در عمل مورد نیاز باشد، لیکن در شرایطی که وضعیت زهکشی طبیعی(داخلی) خاک نامناسب باشد، استفاده از این میزان آب، شرایط را نامطلوب‌تر می‌کند. زیرا جریان حرکت آب در خاک (و محیط متخلخل) از قانون دارسی پیروی می‌کند، هرچند مفاهیم جدید "جایگزینی اختلاط‌پذیر" و نظریه‌های ارائه‌شده در مورد فرایندهای "انتشار و پخشیدگی نمک‌های محلول" در محیط متخلخل از جمله موارد جدید و قابل ملاحظه درخصوص تنظیم و اصلاح خاک‌های مسئله‌دارهستند.

در این مبحث تلاش شده است تا به‌منظور دوری از پیچیدگی مطلب، تفاوت بین مشکل کنترل و تنظیم شوری نمک در نیمرخ خاک از طریق بیلان نمک یا نیاز آبشویی (LR)، تخلیه و دفع نمک‌های متراکم در خاک‌های شور و سدیمی که به نیاز اصلاحی معروف است، مطالبی بیان شود. بدین ترتیب نیاز اصلاحی زمین، عبارت از مقدار (میزان) آبی است که باید از نیمرخ خاک (محدوده توسعه ریشه گیاه) عبور کند و نمک‌های محلول را در نیمرخ خاک، به میزان و غلظت ویژه‌ای برساند که برای کشت گیاهان موردنظر، قابل تحمل باشد. بنابراین نیاز اصلاحی (RR) به طور معمول با خاک‌های بدون‌پوشش زراعی مرتبط است که در نظر است این‌گونه زمین‌ها را برای بهره‌برداری‌های کشاورزی آماده نمود.

۷-۲-۲- نیاز آبشویی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک‌ها

پژوهشگران زیادی برای ارائه رابطه‌ای کمّی به‌منظور تعیین آب لازم برای آبشویی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک‌ها (نیاز آبشویی) تلاش کرده‌اند. کارشناسان آزمایشگاه شوری ایالات متحده بر مبنای مفهوم ارائه شده به وسیله کلینت ورث[1] (۱۹۵۲)، در سال (۱۹۵۴) رابطه زیر را ارائه دادند:

$$LR = \frac{D_{dw}}{D_{iw}} = \frac{C_{iw}}{C_{dw}} = \frac{EC_{iw}}{EC_{dw}} \qquad (۷-۲۸)$$

که در آن:

D_{dw} = عمق معادل آب زهکشی بر حسب میلی‌متر یا متر،

D_{iw} = عمق معادل آب آبیاری بر حسب میلی‌متر یا متر،

C_{iw} = غلظت نمک در آب آبیاری میلی‌اکی والنت بر لیتر و

C_{dw} = غلظت نمک در آب زهکشی میلی‌اکی والنت بر لیتر.

EC_{dw} و EC_{iw} به ترتیب نمایانگر هدایت الکتریکی آب زهکشی و آب آبیاری بر حسب دسی‌زیمنس بر متر است.

به دلیل مشکل بودن برآورد مقدار هدایت الکتریکی آب زهکشی (EC_{dw}) و با اعمال این فرض که بیشترین غلظت محلول خاک در زیر محدوده توسعه ریشه گیاه اتفاق می‌افتد، ریو[2] (۱۹۵۷) پیشنهاد کرد که مقادیر شوری عصاره اشباع خاک به‌عنوان برآوردی از میزان هدایت الکتریکی آب زهکشی (EC_{dw}) در نظر گرفته شود.

با توجه به نظریه یا رابطه اصل بقای جرم و اعمال آن بر رابطه بیلان نمک، رابطه ۷-۲۸ به شرح زیر به‌دست می‌آید.

$$Q_{iw}.C_{iw} - Q_{dw}.C_{dw} - S_{ppc} - Sc = ۰ \qquad (۷-۲۹)$$

که در آن:

Q_{iw} و Q_{dw} به ترتیب کمیت‌های آب آبیاری و آب زهکشی بر حسب حجم بر واحد زمان می‌باشند،

1- Klintworth
2- Reeve

S_{ppc} = معرف میزان نمکی است که در خاک رسوب می‌کند، برحسب میلی‌اکی‌والنت بر لیتر

Sc = مقدار نمک جذب‌شده به‌وسیله گیاه است. برحسب میلی‌اکی‌والنت بر لیتر

به‌طورمعمول فرض می‌شود که مقدار نمکی که در خاک رسوب می‌کند و یا به‌وسیله گیاه جذب می‌شود، مقادیر معنی‌داری نداشته و با اعمال این فرض رابطه ۷-۲۹ به‌شرح زیر تغییر می‌کند:

$$Q_{iw} \cdot C_{iw} - Q_{dw} \cdot C_{dw} = ۰ \qquad (۳۰-۷)$$

که برابر با رابطه(۷-۲۸) است یعنی :

$$\frac{Q_{dw}}{Q_{iw}} = \frac{C_{iw}}{C_{dw}} = \frac{D_{dw}}{D_{iw}}$$

به‌هرحال، پژوهشگران آزمایشگاه شوری ایالات متحده پیشنهاد کردند که رابطه ۷-۲۸ در شرایطی به‌کار رود که جریان آب در خاک به‌صورت همگام بوده و هرگاه مقادیر مربوطه کل عمق آب مصرفی (آبیاری و نیاز آبشویی) در طولانی‌مدت موردنظر باشد.

این پژوهشگران اظهار داشتندکه نیاز آبشویی (LR) به غلظت نمک در آب آبیاری و به بیشترین حد مجاز غلظت در محلول خاک بستگی دارد. افزون بر این ارتباط، فرض شده است که علاوه بر قشر نمکی که در اثر تبخیر در سطح خاک به‌وجود می‌آید، بیشترین غلظت نمک در نیمرخ خاک در ناحیه زیر محدوده توسعه ریشه گیاه وجود دارد، به همین دلیل اعلام شده است که باید پیش‌فرض‌های استفاده یکنواخت و دوره‌ای از آب آبیاری، عدم وجود بارندگی قابل ملاحظه و مؤثر، قابل چشم‌پوشی بودن میزان جذب نمک به وسیله گیاه، و بالاخره عدم رسوب نمک در محیط خاک، فراهم باشند.

اسکوفیلد[1] (۱۹۳۸ و ۱۹۴۰) پیش از انتشار کتابچه شماره ۶۰ وزارت کشاورزی کشور آمریکا با عنوان مبانی تشخیص، اصلاح و بهسازی خاک‌های شور و قلیایی، رابطه سرویس معادل[2] را پیشنهاد کرد که در آن فرض شده بود محلول آب خاکی که مورد استفاده گیاه قرار می‌گیرد، به اندازه غلظت آب آبیاری، نمک دارد و همچنین فرض کرد

1- Scofield
2- Service Equivalence Formula

که میزان نمک زه‌آب خروجی زهکشی برابر با میزان آب مصرفی ضرب در نصف غلظت نمک آب آبیاری است.

ایتون[1] (۱۹۵۴) مفاهیم دیگری را در مورد نیاز آبشویی (LR) ارائه کرد که در آن، رابطه‌هایی برای برآورد آب آبشویی و نیاز به استفاده از کلسیم[2] (Ca^{2+}) پیشنهاد شده است. وی اظهار داشت که نیاز آبشویی را می‌توان فقط با اندازه‌گیری میزان شوری خاک بیان کرد. در خلاصه نتایج ارائه‌شده به‌وسیله ایتون، تغییرات مقدار نفوذپذیری خاک، میزان رشد گیاه، نیاز آبشویی گیاهان مختلف، عوامل اقلیمی که می‌تواند بر روی میزان تعرق مؤثر باشد و مانع تأثیر عوامل دیگر در برآورد آبشویی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک‌ها شوند، نیز تأکید شده است. وی در توسعه رابطه‌ای برای بیان میزان آب آبشویی مورد نیاز، فرض کرد که گیاهان می‌توانند در برابر یون کلر به‌اندازه دو برابر یون سولفات (برحسب میلی‌اکی والنت در لیتر) مقاومت نشان دهند. که بر این اساس، وی پیشنهاد کرد که در رابطه پیشنهادی عبارت $(Cl+\frac{1}{2}SO_4)$ به‌شرح زیر به‌کار رود.

تذکر: نظریه دیگری بیانگر این مطلب است که به دلیل این‌که نیمی از سولفات‌ها به‌صورت سولفات کلسیم در خاک رسوب می‌کند و فقط نیم دیگر آن به‌صورت سولفات‌های سدیم و منیزیم محلول هستند، رابطه اخیر، با عنوان شوری بالفعل بیان می‌شود.

$$\%d = \frac{S_w \times ۱۰۰}{۲ \times M_{ss} - S_w} = \frac{S_w \times ۱۰۰}{۲ \times ۴۰ - S_w} = \frac{S_w \times ۱۰۰}{۸۰ - S_w} \qquad (۳۱-۷)$$

که در آن :

S_w = شوری آب آبیاری برحسب میلی‌اکی والنت بر لیتر $(Cl+\frac{1}{2}SO_4)$ به‌کار می‌رود،

%d = مقدار موقت (d) برحسب درصدی از آب آبیاری که به خاک اضافه و از محدوده توسعه ریشه گیاه خارج می‌شود،

M_{ss} = میانگین شوری محلول در خاک که به‌صورت میلی‌اکی‌والنت بر لیتر $(Cl+\frac{1}{2}SO_4)$ بیان می‌شود. در رابطه بالا رقم ۴۰ به‌عنوان غلظت (M_{ss}) به‌کار

1- Eaton
2- Calcium Requirement (CR)

می‌رود و تصور می‌شود که در این شرایط در مناطق خشک و نیمه خشک ۷۰ تا ۸۰ درصد گیاهان تقریباً مقاوم به شوری، رشد می‌کنند.

با این فرض که غلظت محلول آبی که به سمت پایین حرکت می‌کند در هنگام عبور از محدوده توسعه ریشه گیاه، افزایش می‌یابد و هیچ‌گونه نمکی در خاک رسوب و یا جذب گیاه نمی‌شود، ایتون رابطه ۷-۳۱ را مبنای استخراج رابطه زیر قرار داد:

$$Sd = \frac{Sw \times ۱۰۰}{\%d} \qquad (۳۲-۷)$$

که در آن :

Sd = شوری زه‌آب خروجی بر حسب میلی‌اکی‌والنت بر لیتر است، و دیگر عوامل در قبل تعریف شده‌اند.

وی در مورد رابطه بالا، پیشنهاد کرد که غلظت محلول خاک در زیر محدوده توسعه ریشه گیاه و اندازه‌گیری آن در مقایسه با به‌کارگیری روش شوری زه‌آب خروجی مقادیر قابل اعتمادتری را ارائه می‌دهد. به همین دلیل توجه به عبارت Mss را پیشنهاد کرد.

ایتون (۱۹۵۸) با تشریح مثالی ایده‌آل برای بیان بیلان نمک، نتیجه‌گیری کرد که بیان بیلان نمک به‌صورت غلظت نمک نمی‌تواند به گونه‌ای که در خاک وجود دارد، معنی واقعی خود را داشته باشد و چنین نتیجه گرفت که عبارت بیلان نمک به‌صورت دقیق به کاربران معرفی نشده است.

باور[1] (۱۹۶۱) پیشنهادهایی در مورد کاربرد رابطه (۷-۲۸) ارائه کرد و اظهار داشت که مجموعه عوامل، عمق نفوذ ریشه گیاه، میزان آب خاک، واکنش‌های تبادل کاتیونی، نفوذپذیری و شرایط زهکشی طبیعی(داخلی) خاک، به‌طور مستقیم در فرایند آبشویی دخالت ندارد و فقط نفوذپذیری و زهکشی خاک می‌توانند موجب میزان آبشویی مشخصی شوند. وی پیشنهادهایی را نیز در مورد تعدیل رابطه مذکور، در شرایطی که افزون بر آب آبیاری، آب باران نیز دخالت دارد، به‌شرح زیر ارائه کرد.

$$C_i(adj) = (D_r.C_r + D_i.C_i) \div (D_r + D_i) \qquad (۳۳-۷)$$

لازم است مقدار $C_i(adj)$ حاصل از این رابطه در رابطه‌های قبلی به‌جای (C_{iw}) به‌کار گرفته شود.

1- Bower

در رابطه ۷-۳۳ عبارات D_r و C_r به ترتیب عمق آب باران برحسب میلی‌متر و شوری آب آبیاری بر حسب میلی‌اکی‌والنت بر لیتر است،

هیل[1] (۱۹۶۱) سعی نمود سه هدف یا اقدام عملیاتی را برای امر آبشویی بیان نماید:

- اولین و مهم‌ترین هدف آبشویی، خارج کردن نمک‌های محلول از نیمرخ خاک است،
- هدف دوم برقراری مطلوب بیلان نمک در محدوده توسعه ریشه گیاه در زمین‌های مورد آبیاری است و
- سومین هدف که اغلب کمتر مورد توجه است، برقراری شرایط سرویس معادل می‌باشد که این امر خود متضمن حفظ غلظت مشابه و مؤثر محلول خاکی است که بر اثر استفاده از آب‌های آبیاری با شوری‌های متفاوت، تغییر می‌کند.

وی در تشریح هدف دوم، موارد به‌کاررفته در رابطه(۷-۲۸) را مورد توجه قرار داد و سپس فرض کرد که باید بلافاصله پس از اعمال آبیاری کمترین میانگین غلظت محلول خاک در همه لایه‌های محدوده توسعه ریشه گیاه یکسان شوند. مقدار آن با میانگین حسابی غلظت‌های آب آبیاری و تراوش‌های عمقی محدوده توسعه ریشه گیاه برابر شود. این میانگین حسابی به‌عنوان نمایه (شاخص) غلظت مؤثر[2] محلول خاک و به شرح زیر است :

$$C_s = \frac{C_a + C_p}{۲} \qquad (۳۴-۷)$$

$$C_p = ۲C_s - C_a \qquad (۳۵-۷)$$

که بدین ترتیب می‌توان رابطه زیر را ارائه داد.

$$D_a = D_\circ (\frac{C_p}{C_p - C_a}) \qquad (۳۶-۷)$$

که با جایگزینی رابطه (۷-۳۵) در رابطه اخیر، رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$D_a = D_\circ (\frac{۲C_s - C_a}{۲C_s - ۲C_a}) \qquad (۳۷-۷)$$

که در آن:

C_s = غلظت مؤثر محلول خاک، بر حسب میلی‌اکی‌والنت بر لیتر،

1- Hill

2- Index of the Effective Concentration..

C_p = غلظت تراوش‌های عمقی، بر حسب میلی‌اکی‌والنت بر لیتر،
C_a = غلظت آب آبیاری، بر حسب میلی‌اکی‌والنت بر لیتر،
D_a = عمق آب آبیاری بر حسب میلی‌متر و
$D_\circ$ = میزان آب مصرفی مورد نیاز گیاه بر حسب میلی‌متر است.

با به‌کارگیری رابطه (۷-۳۷) می‌توان با برقراری سرویس معادل مشخصی، عمق آب آبیاری را که دارای غلظت‌های متفاوت است، محاسبه کرد.

پیترسون[1] (۱۹۶۵) بیان کرد که باید رابطه آبشویی نمک(نیاز آبشویی) را با دقت بیشتری بررسی و اصلاح کرد زیرا در این رابطه خطاهای ذاتی وجود دارد. برای مثال وی اظهار کرد که رسوب نمک در محلول خاک و جذب نمک به‌وسیله گیاه، موجب می‌شود که نیاز آبشویی کمی بیش از آنچه مورد نیاز واقعی است، محاسبه شود. وی به تحقیقات باور (۱۹۶۱) اشاره کرد که براساس آن استفاده غیریکنواخت آب آبیاری، نیاز آبشویی کمتری را به‌دست می‌دهد، ضمن آنکه دو خطای دیگر نیز بروز می‌کند، وی این دو خطا را که برروی رابطه محاسبه نیاز آبشویی تأثیر تلفیقی می‌گذارند، مرتبط با بی‌توجهی به موارد ذاتی به‌کار رفته در اشتقاق رابطه مذکور دانست و مورد بعدی نیز در این فرض مستتر است که هرگاه از آب آبیاری استفاده شود، مقدار آبی که از محدوده توسعه ریشه گیاه خارج می‌شود، غلظتی برابر با حد تحمل گیاه به شوری دارد. افزون بر این، فرض شده است که مقدار نمکی که خارج می‌شود، برابر با مقدار نمک موجود در خاک در زمان شروع آبشویی است، هرگاه کل میزان آب آبشویی محاسبه‌شده که به‌صورت کسر بیان می‌شود، به‌صورت واحد جایگزین‌شده از محدوده توسعه ریشه گیاه خارج شود. وی تأکید کرد که مقدار نمکی که در شرایط مزرعه‌ای از خاک خارج می‌شود به‌دلیل عدم امکان جایگزینی کامل در نیمرخ خاک نمی‌تواند برابر با موارد محاسبه شده باشد و این امر مؤید آن است که مقدار نیاز آبشویی محاسبه‌شده ناکافی است.

خطای دیگر ناشی از به‌کارگیری عبارت (EC_e) به‌عنوان هدایت الکتریکی قابل تحمل گیاه به‌صورت (EC) آب زهکشی است. از آن‌جاکه در فرایند آبشویی مقدار نمک بیشتری

1- Peterson

در مقایسه با آنچه از طریق به‌کارگیری "نیاز آبشویی" حاصل می‌شود، بدین‌دلیل مقدار نیاز آبشویی، مقادیر بزرگ‌تری را شامل می‌شود.

پیترسون (۱۹۶۵) برای بیان نیاز آبشویی رابطه جدیدی را به شرح زیر ارائه کرد:

$$LR = \frac{EC_{iw}}{EC_{ss}} \times C \qquad (۳۸-۷)$$

به‌منظور ارزیابی نیاز آبشویی، هرگاه مقدار (EC_{ss}) که معرف هدایت الکتریکی محلول خاک در غلظت نمکی در حد تحمل گیاه، منظور شود، واژه (C) بیان‌کننده ضریب آبشویی[1] و بدون بُعد است که مقدار آن می‌تواند براساس محل استقرار نمک در نیمرخ خاک و دیگر ویژگی‌های خاک متغیر باشد. EC_{iw} و EC_{ss} بر حسب دسی‌زیمنس بر متر بیان می‌شوند.

فولر[2] (۱۹۶۵) اظهار داشت که از نظر اصولی نیاز آبشویی، مفهوم عمومی خوبی برای درک موارد زهکشی است لیکن به‌طورقطع برای کنترل شوری در برنامه‌های زراعی زمین‌های مورد آبیاری در مقیاس‌های کوچک و بزرگ دارای محدودیت‌هایی در کاربرد کلی است، وی رابطه زیر را به‌عنوان درصد آبشویی[3] ارائه داد و تأکید کرد که این رابطه کاربرد بیشتری دارد.

$$LP = \frac{EC_{iw}}{۲EC_{e}} \times ۱۰۰ \qquad (۳۹-۷)$$

این مقدار (LP) برابر با تحمل گیاه نسبت به شوری، در حد ظرفیت مزرعه (FC) است لیکن توجهی به تغییرات میزان شوری و تراکم آن در لایه خاصی ندارد. همچنین بازده یا بازده آب آبشویی موردنظر در آن لحاظ نشده است. عوامل به‌کار رفته در رابطه بالا در قبل تعریف شده‌اند.

رودز[4] (۱۹۷۴) و رودز و مریل[5] (۱۹۷۶) برای برآورد دقیق‌تر از نیاز آبشویی برای یک گیاه خاص، رابطه زیر را ارائه کردند.

1- Leaching Coefficient
2- Fuller
3- Leaching Percentage (LP)
4- Rhoades (1974)
5- Rhoades and Merrill

$$LR = \frac{EC_{iw}}{۵\ (EC_e) - EC_{iw}} \qquad (۴۰-۷)$$

که در آن :

LR = کمترین نیاز آبشویی لازم برای تنظیم نمک در محدوده شوری (EC_e) قابل تحمل گیاه در روش‌های مرسوم آبیاری سطحی،

EC_{iw} = شوری آب آبیاری به‌کار رفته برحسب دسی زیمنس بر متر و

EC_e = میزان میانگین حد تحمل گیاه به شوری برمبنای اندازه‌گیری عصاره اشباع خاک، برحسب دسی‌زیمنس بر متر است، که مقادیر آن برای عملکردهای متفاوت محصولات زراعی و باغی، در کتاب‌های مرجع ارائه شده است.

۷-۲-۳- نیاز اصلاحی زمین‌ها[1]

به‌طور کلی خارج کردن نمک‌های محلول و تراکم یافته در نیمرخ خاک‌های بسیار شور و یا شور و سدیمی، با عنوان عملیات اصلاحی زمین‌ها تعریف می‌شود و نیاز اصلاحی (RR) با عبارت نیاز آبشویی (LR) تفاوت دارد. زیرا نیاز آبشویی مربوط به مقدار آبی است که باید از محدوده توسعه ریشه گیاه عبور کرده و تراکم نمک را در محیط رشد گیاه به سطح یا میزان مشخصی تعدیل نماید. لیکن نیاز اصلاحی مربوط به خاک‌های بدون پوشش(بایر یا غیرزراعی) است تا از این راه بتوان آنها را اصلاح و برای استفاده‌های کشاورزی(زارعی و آبیاری) آماده کرد. این کمیت آب (RR) عامل مهمی برای انجام امور زراعی در شبکه‌های آبیاری سنتی و نوین به‌شمار می‌رود. بدیهی است در بیشتر شرایط برای اعمال عملیات اصلاحی خاک و زمین، ابتدا باید اقدام به احداث سامانه زهکشی زیرزمینی کرد تا از آن راه بتوان نمک‌های محلول آبشویی‌شده را از نیمرخ خاک جمع‌آوری، تخلیه و دفع کرد. افزون بر اعمال عملیات اصلاحی در شبکه‌های جدید، انجام این امر برای احیاء و اصلاح شبکه‌های آبیاری قدیمی که در حال شوری و یا شوری و سدیمی شدن هستند(که در بیشتر شرایط با حالت زهدار و ماندابی بودن زمین‌ها نیز همراه است)، الزامی است، در این مورد می‌توان به شواهدی در دره نیل در کشور مصر، شمال و غرب قاره آفریقا و زمین‌های وسیع جلگه بین‌النهرین اشاره کرد.

1- Land Reclamation Requirement (LRR)

ماگیستاد و کریستین‌سن[1] (۱۹۴۴) برای اصلاح زمین‌ها، مشروط به نبود مشکل خاص و فراهم بودن شرایط لازم، غرقاب کردن سطح زمین‌هایی که در آن امکان رشد و تولید گیاهان نبوده است، را پیشنهاد کردند. آنها تأکید نمودند که آب باید به‌صورت مستغرق برروی سطح زمین باقی بماند تا نمک‌های محلول به وسیله تراوش‌های عمقی به لایه‌های زیرین نیمرخ خاک انتقال یابند، این پژوهشگران استفاده از آب مورد نیاز اصلاحی را در فصول سرد یا معتدل سال که میزان تبخیر به‌طور نسبی کمتر است، به همراه استفاده متناوب آب مورد نیاز اصلاحی خاک (به‌دلیل بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک لایه سطحی) پیشنهاد کردند. که امروزه این روش باعنوان آبشویی متناوب نمک‌های محلول از نیمرخ خاک‌ها شناخته می‌شود.

ریو و همکاران[2] (۱۹۴۸) از تحقیقاتی که بر روی زمین‌های بخش دلتایی ایالت یوتا در ایالات متحده انجام دادند دریافتند که برای اصلاح و بهسازی نوعی خاک شور و سدیمی با منشأ گچی، عمق آب اصلاحی معادل ۱/۲ متر، مورد نیاز است. این پژوهشگران طرح آزمایشی خود را با چهار تیمار صفر (شاهد)، ۰/۳ ، ۰/۶، ۱/۲۰ متر آب آبشویی، انجام دادند و سپس اقدام به کشت گیاه گندم در این زمین‌ها کردند و بدین ترتیب رابطه‌ای بین عمق آب کاربردی و عملکرد محصول ارائه دادند. لیکن درباره مقدار تعدیل یا کاهش میزان نمک‌های محلول نیمرخ خاک، قبل و بعد از مراحل آبشویی، رقمی ارائه نداده‌اند. در تحقیق دیگری که به‌وسیله ریو و دیگران (۱۹۵۵) در دره کوچیلا ایالت کالیفرنیا در ایالات متحده انجام شد، گزارش کردند که آبشویی نمک‌های لایه سطحی خاک از طریق عبور جریان[3] برروی سطح زمین، اقدام اصلاحی غیرمؤثری است، بنابراین، اظهار کردند که رساندن عمق آب آبشویی به ۰/۳ متر، در کاهش قابل ملاحظه نمک‌های محلول لایه سطحی با ضخامت ۰/۳ متر در نیمرخ خاک موفقیت‌آمیز بوده است.

در تحقیقاتی که بدان اشاره شد هیچ اشاره‌ای به میزان آب آبشویی لازم برای کاهش میزان شوری خاک تا حد تحمل گیاه مورد نظر نشده است، فقط به این عبارت کلی اکتفا گردیده است که برای آبشویی و اصلاح خاک بسیار شور و یا شور و سدیمی باید به‌ازای هر عمق معینی از خاک به همان میزان آب آبشویی به‌کار برد.

1- Magistad and Christiansen
2- Reeve et al
3- Flushing

ریو (۱۹۵۷) رابطه تجربی زیر را براساس تجزیه و تحلیل رقم‌های به‌دست‌آمده از آزمایش‌های مزرعه‌ای اصلاح خاک و زمین ارائه کرد:

$$\frac{D_w}{D_s} = \frac{۱}{۵(\frac{C}{C_۰})} + ۰/۱۵ \qquad (۴۱-۷)$$

که در آن :

D_w = عمق آب نفوذ یافته (آبشویی) بر حسب میلی‌متر، سانتی‌متر یا متر برای لایه خاکی به ضخامت (Ds)،

$C_۰$ = میانگین غلظت شوری در کل نیمرخ خاک قبل از آبشویی، بر حسب دسی‌زیمنس بر متر،

C = میانگین غلظت شوری در کل نیمرخ خاک پس از آبشویی، بر حسب دسی‌زیمنس بر متر و

D_s = ضخامت افق یا لایه خاک موردنظر برای عملیات اصلاحی بر حسب میلی‌متر، سانتی‌متر یا متر.

در این آزمایش‌ها هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (EC_e) به‌عنوان غلظت شوری محلول خاک به‌کار رفته است که بدین ترتیب وی پیشنهاد کرد که رابطه قبلی به شرح زیر اصلاح شود.

$$\frac{D_w}{D_s} = \frac{۱}{۵\left(\frac{EC_f}{EC_i}\right)} + ۰/۱۵ = \frac{EC_i}{۵(EC_f)} + ۰/۱۵ \qquad (۴۲-۷)$$

در رابطه ذکر شده علائم به‌کاررفته دارای معانی زیر است:

(EC_i) و (EC_f) به ترتیب هدایت الکتریکی عصاره اشباع نیمرخ خاک، بر حسب دسی‌زیمنس بر متر قبل و بعد از آبشویی (پس از کاربرد مقادیر لازم آب اصلاحی) و D_w و D_s نیز معانی پیشین را دارا می‌باشند.

با تعمق در رابطه (۷-۴۲) ملاحظه می‌گردد که نسبت‌های عمق آب کاربردی (آبشویی ناخالص، D_w) به عمق خاک یعنی (D_w / D_s) و هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک قبل از آبشویی به هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک پس از آبشویی (EC_i / EC_f)

هر دو بدون بُعد می‌باشند. هرگاه در رابطه اخیر تساوی‌های $(Y = EC_f / EC_i)$ و $(X = D_w / D_s)$ جایگزین شوند، می‌توان رابطه را به شکل کلی زیر ارائه نمود:

$$Y = [۵(X - ۰/۱۵)]^{-۱} \qquad (۴۳-۷)$$

$$X = \frac{۱}{۵Y} + ۰/۱۵ = \frac{۰/۲}{Y} + ۰/۱۵ \qquad (۴۴-۷)$$

با استفاده از تساوی‌های جایگزین که در اشتقاق رابطه بالا مورد استفاده قرار گرفت، روابط زیر را نیز می‌توان نوشت:

$$٪Y = ۱۰۰\left(\frac{EC_f}{EC_i}\right) = ۱۰۰[۵(X - ۰/۱۵)]^{-۱} \qquad (۴۵-۷)$$

$$٪Y' = ۱۰۰ - (٪Y) = ۱۰۰\{۱ - [۵(X - ۰/۱۵)]^{-۱} \qquad (۴۶-۷)$$

در روابط بالا:

$٪Y$ = درصد نمک‌های اولیه باقیمانده و

$٪Y'$ = درصد نمک‌های اولیه شسته شده می‌باشد.

تذکر: در صورت در دسترس بودن اطلاعات لازم، بدون آنکه در روابط بیان شده تغییری ایجاد شود می‌توان به جای D_w (عمق ناخالص آب آبشویی)، از Dl_w (عمق خالص آب آبشویی) استفاده کرد، زیرا میزان Dl_w را با کسر میزان کمبود رطوبت خاک لایه موردنظر D_s (تا حد ظرفیت مزرعه) از عمق آب کاربردی D_w می‌توان به دست آورد.

دیلمان (۱۹۶۳)، بر این باور بود که میزان شوری تعادلی (EC_{eq}) به فرایندهای تبخیر، شرایط زهکشی داخلی خاک‌های مورد آزمون و شوری آب آبشویی مورد استفاده (EC_{iw}) مربوط است و هرگاه مقدار اخیر (EC_{eq}) از مقادیر شوری اولیه (EC_i) و نهایی (EC_f) کسر شوند، روابط حاصل یعنی $[(EC_f - EC_{eq})/(EC_i - EC_{eq})]$ و $[Dl_w / D_s)]$ به‌طور نظری از کیفیت آب آبشویی، وضعیت زهکشی داخلی خاک و میزان تبخیر مستقل می‌گردند و بدین ترتیب روابط و منحنی‌های بدست آمده فقط به ویژگی‌های خاک محل مورد آزمایش بستگی خواهد داشت. بدین ترتیب با اعمال این

پیشنهاد و جایگزینی $D_w = Dl_w$ در رابطه (۷-۴۲) شکل نهایی رابطه یا مدل تجربی ریو (۱۹۵۷) به‌صورت زیر خواهد بود:

$$[(EC_f - EC_{eq})/(EC_i - EC_{eq})] = ۱ \div ۵[(Dl_w / D_s) - ۰/۱۵] \qquad (۴۷-۷)$$

با استفاده از رابطه بالا می‌توان عمق (ارتفاع) خالص آب آبشویی لازم برای اصلاح خاک را به شرح زیر محاسبه نمود.

$$Dl_w = D_s\left[۰/۲\left(\frac{EC_i - EC_{eq}}{EC_f - EC_{eq}}\right) + ۰/۱۵\right] = D_s\left[\frac{۱}{۵}\left(\frac{EC_i - EC_{eq}}{EC_f - EC_{eq}}\right) + ۰/۱۵\right] \qquad (۴۸-۷)$$

هم‌چنین با معلوم بودن سایر عوامل، میزان شوری نهایی (EC_f) عصاره اشباع خاک را پس از آبشویی نمک‌های محلول نیمرخ خاک با کاربرد مقدار معینی $[X = Dl_w / D_s]$ به‌شرح زیر می‌توان برآورد نمود.

$$EC_f = \left[\frac{۱}{۵}\left(\frac{EC_i - EC_{eq}}{X - ۰/۱۵}\right)\right] + EC_{eq} \qquad (۴۹-۷)$$

در روابط (۷-۴۷)، (۷ -۴۸)و(۷-۴۹)کلیه علائم به‌کار رفته معانی و ابعاد پیشین را دارا می‌باشند.

توجه: در ارتباط با برآورد یا محاسبه آب مورد نیاز اصلاحی زمین‌ها (RR)، روابط تجربی متعدد دیگری بر پایه آزمون‌های مزرعه‌ای ارائه گردیده که علاقمندان می‌توانند برای آگاهی از آن به مندرجات منبع شماره (۲) مراجعه نمایند.

۷-۳- ضرورت کنترل کیفی بیلان آب و نمک در خاک

عدم توجه به این مهم که امر کشاورزی در اراضی فاریاب، مستلزم توجه خاص به موارد کنترل شوری و سدیمی بودن خاک است، امکان دارد منجر به کاهش قابل توجه عملکرد محصولات زراعی و باغی و یا به عدم برداشت محصول مطلوب و مناسب گردد. در مناطقی که منابع آب قابل عرضه محدود نبوده و آب آبیاری کیفیت مناسبی دارد قبل از اقدام به امور کشاورزی و آبیاری لازم است که نسبت به آبشوئی نمک‌های محلول و اصلاح کیفیت خاک و زمین‌ها عطف توجه نموده و در شرایطی که کیفیت آب آبیاری نامطلوب می‌باشد و بدین‌دلیل اجرای عملیات اصلاح و بهسازی خاک و زمین‌ها در مقیاس

کامل اقتصادی نیست، نیز می‌توان مشروط به اعمال توجه لازم به عملیات اجرائی خاص برای کنترل شوری(و سدیمی شدن) در امور آبیاری و کشاورزی تا حدودی موقعیت حاصل نمود. در این مورد ضروری است، میزان رطوبت خاک همواره در سطح مناسبی نگهداری گردد تا اثرات نامطلوب شوری تشدید نگردد و بدین منظور بایستی عملیات آبیاری بطریقی اعمال گردد تا موجب آبشویی نمک‌های محلول را از منطقه توسعه ریشه گیاه فراهم آورد. هرچند بعضی از گیاهان در مراحل بخصوص و به‌طورعمده در مراحل جوانه زدن و رشد اولیه گیاهچه نسبت به شوری منابع (آب و خاک) حساس می‌باشند که در این حالت بهتر است که بستر کشت با کاربرد آب آبیاری آبشوئی گردد.

از طرفی هرگاه عوامل دیگری نظیر مواد معدنی مورد نیاز گیاهان به‌میزان کافی و با سهولت در اختیار گیاه قرار گیرد، میزان مقاومت آن نسبت به شوری خاک افزایش می‌یابد که این حالت در مورد عنصر غذائی فسفر صدق می‌نماید. در این ارتباط لازم است در انتخاب نوع کود معدنی دقت خاصی مبذول گردد تا کاربرد مواد معدنی موجب افزایش بیش از حد پتانسیل اسمزی محلول خاک نگردد.

تعبیه سامانه زهکشی مناسب، به‌طوری که طی دوره رشد و نمو گیاه قادر به کنترل و تنظیم سطح ایستابی مطلوب باشد، در این مورد اقدام بسیار با اهمیتی محسوب می‌گردد. در مناطقی که میزان ریزشهای آسمانی در آن در فصول مرطوبی قابل توجه است، شاید این میزان ریزشهای آسمانی برای آبشوئی طبیعی نمک‌های تراکم یافته در نیمرخ خاک طی دوره زراعی (فصول غیرمرطوبی) کفایت نماید.

همان‌طور که بیان گردید، نیاز آبشویی به‌عنوان کسری از آب آبیاری و افزون بر نیاز آبی گیاه توصیف می‌شودکه کاربرد این میزان آب اضافی برای آبشویی نمک‌های محلول از محدوده توسعه رشد گیاه لازم می‌باشد. بدین ترتیب نیاز آبشویی نمک‌ها مبتنی بر حفظ و تعادل بیلان آب و نمک در محدوده توسعه ریشه گیاه می‌باشد و موارد پویائی نمک‌ها محلول در نیمرخ خاک در آن لحاظ نشده است. تعمق در تعریف ارائه شده بالا بیانگر آن است که نیاز آبشویی نمک‌ها، مرتبط با میزان غلظت نمک‌ها در آب آبیاری (EC_{iw}) و زه‌آب زهکشی (EC_{dw}) می‌باشد. بدین ترتیب هرگاه آب آبیاری بصورت عمق معادل (Diw) و آب زهکشی یا زه‌آب (Ddw) نیز با همین واحد ارائه شود، رابطه زیر را برای بیان نیاز آبشوئی موردنظر می‌توان ارائه داد.

$$LR = \frac{Ddw}{Diw} = \frac{EC_{iw}}{EC_{dw}}$$ (۲۸-۷) مکرر

از طرفی عمق آب آبیاری(Diw) مرتبط با اعماق آب مصرفی (Dcw) و آب زهکشی (Ddw) می‌باشد بدین ترتیب نتیجه می‌گردد که:

$$Diw = Dcw + Ddw$$ (۵۱-۷)

با استفاده از روابط بالا، رابطه زیر را می‌توان ارائه داد.

$$Diw = \frac{Dcw}{(1 - LR)} = \left[\frac{EC_{dw}}{EC_{dw} - EC_{iw}}\right].Dcw$$ (۵۲-۷)

به‌طورکلی حد مجاز غلظت نمک‌های محلول در محدوده توسعه ریشه گیاه، مرتبط با عامل حد تحمل یا مقاومت گیاه به شوری[1] است که در این مورد باتوجه به میزان و محدوده تحمل گیاهان مختلف به شوری محلول خاک جداولی تهیه و تدوین گردیده و امکان دسترسی به آن از طریق منابع و مراجع معتبر، برای کاربرد در رابطه‌های گفته شده فراهم است. به‌هرحال، روابط بیان شده در بالا نارسائی‌هایی را نیز به‌شرح زیر دارا می‌باشند.

- موارد توزیع یا پراکنش غیریکنواخت نمک‌ها در نیمرخ خاک در آن لحاظ نشده، ضمن آن‌که این موضوع ممکن است اثرات معنی‌دارتری از کل میزان نمک‌های محلول خاک را داشته باشد.
- به‌دلیل کاربرد ارقام میزان هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (ECe)، برای تعیین حد مجاز یا قابل‌تحمل گیاه به شوری، عامل ترقیق[2] در آن لحاظ می‌باشد. لیکن این عامل برای انتخاب میزان مقاومت به شوری از طریق زه‌آب(آب زهکشی) مورد توجه نیست و بدین‌علت بهتر آن است که غلظت واقعی محلول خاک به‌جای غلظت زه‌آب مورد استفاده قرار گیرد.

1- Salinity.
2-Dilution Factor.

- در زمان کاربرد آب آبیاری بر روی خاک‌های خشک، غلظت زه‌آب اولیه خاک ممکن است ده‌ها برابر غلظت نمک‌های محلول عصاره اشباع خاک باشد که دلیل موجد آن‌را می‌توان تراکم نمک‌ها در پیشینه رطوبتی خاک[1] دانست و این مهم نیز در روابط بالا قابل تشخیص نمی‌باشد.
- از طرفی برخلاف نظریه جایگزینی اختلاط‌پذیر[2]، نیاز آبشوئی بر پایه مدلی بنیان گردیده که در آن فرض می‌شود که هر میزان آب آبیاری که به خاک افزوده می‌گردد، به‌سمت پائین و عمودی حرکت نموده، با محلول خاک امتزاج می‌یابد و به‌طور نسبی باعث کاهش نمک‌های تمامی محلول خاک محدوده توسعه رشد گیاه را فراهم می‌آورد. این موضوع از آنجا ناشی می‌گردد که غلظت آب زهکشی در تمامی ستون خاک یکسان فرض می‌گردد.

بدین‌ترتیب ملاحظه می‌شود که بدون توجه به نکات بیان شده بالا، کاربرد رابطه‌های نیاز آبشوبی ممکن است، در عمل موجب بروز خطاهای قابل ملاحظه‌ای را در محاسبات و اتلاف مقادیر قابل‌توجهی آب آبیاری گردد که بدین‌دلیل لزوم توجه به موارد بیان شده در مورد کاربرد رابطه‌های بیان شده دارای اهمیت است. نتیجه این‌که روابط بالا مقدار آب مورد نیاز برای آبشوئی را بسیار محتاطانه و بیش از مقادیر لازم تخمین می‌زند و بدین‌دلیل در سال‌های اخیر روابط دیگری برای برآورد نیاز آبشوئی ارائه شده است.

به‌عنوان مثال برای برآورد دقیق‌تری از نیاز آبشویی[3] لازم و برای گیاه بخصوص رابطه زیر ارائه شده است:

$$LR = \frac{EC_{iw}}{5(EC_e) - EC_{iw}}$$ (۴۰-۷) مکرر

که در آن:

LR : حداقل نیاز آبشویی لازم برای تنظیم نمک‌ها در محدوده شوری (ECe) قابل تحمل گیاه در روش‌های مرسوم آبیاری ثقلی یا سطحی،

1- Soil Moisture Front.
2- Miscible Displacement.
3- Leaching Requirement (LR).

EC_{iw}: میزان شوری(هدایت الکتریکی) آب آبیاری برحسب دسی زیمنس بر متر (dS/m) و

EC_e: مقدار متوسط حد تحمل گیاه به شوری بر مبنای اندازه‌گیری عصاره اشباع خاک برحسب دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد.

توجه : توصیه گردیده که در این مورد مقدار شوری (EC_e) که موجب ۹۰ درصد میزان عملکرد محصولات است، به‌طور مقدماتی به‌کار گرفته شود.

بدین‌ترتیب کل عمق آب سالیانه مورد نیاز که باید نیاز آبی و نیاز آبشویی را جبران نماید، از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$AW = \frac{ET}{1 - LR} \qquad (۵۳-۷)$$

که در آن:

AW : عمق آب موردنیاز یا کاربردی برحسب میلی‌متر در سال،

ET : کل میزان آب سالیانه مورد نیاز یا تقاضای گیاه برحسب میلی‌متر در سال و

LR: نیاز آبشویی است که به‌صورت اعشاری بیان می‌گردد.

نکته: بار دیگر یادآوری می‌نماید که نیاز آبشویی (LR) به‌صورت اعشاری و افزون بر نیاز آبی گیاه تعریف شده است که ضرورت دارد این میزان آب از محدوده توسعه ریشه گیاهان عبور نموده و نمک‌های محلول را آبشویی و در حد مورد نظر تنظیم نماید.

تذکر: به استناد تجربیات قابل استناد می‌توان توصیه نمود که هرگاه تفاوت مقدار نفوذ یا تراوشات عمقی حاصل از کاربرد آب آبیاری و نیاز آبشویی(LR)، بیشتر از ۳۰ درصد مقدار نیاز آبشویی باشد، کاربرد مقادیری آب اضافی برای آبشویی نمک‌های محلول در محدوده توسعه ریشه گیاهان ضرورت نخواهد داشت و تراوشات کاربرد آب آبیاری موجب آبشویی نمک‌های محلول نیمرخ خاک نیز می‌گردد و در شرایطی که تفاوت این دو مقدار(کمیت) کمتر از ۳۰ درصد نیاز آبشویی باشد، آن گاه برای حصول اطمینان بیشتر می‌توان ۲۵ درصد میزان آب مورد نیاز آبشویی(LR) را به آب آبیاری کاربردی اضافه نمود که بدین ترتیب، مقادیر تراوشات عمقی آب کاربردی در مزرعه نیز افزایش خواهد یافت.

۷-۴- مثال‌هایی از چگونگی محاسبات

- آب موردنیاز آبیاری

در زیر به‌طور اختصار بعضی تعاریف مرتبط با مثال‌ها ارائه گردیده است.

- بازده (راندمان) عبارت است از نسبت ستاده (Output) به داده (Input).
- بازده آبیاری[1]، عبارت است از نسبت یا درصد آب مصرفی گیاه(هان) در یک واحد به آب وارد شده به ابتدای آن واحد. هرگاه این نسبت در واحد آبیاری[2] اندازه‌گیری شود، به‌نام «بازده آبیاری واحد آبیاری یا بازده کاربرد[3]» و زمانی که در مزرعه[4] اندازه‌گیری شود، «بازده آبیاری مزرعه» و هرگاه از محل تأمین آب تا استفاده توسط ریشه گیاه(هان) محاسبه شود «بازده کل آبیاری» نامیده می‌شود.

با توجه به تعاریف بیان شده روابط زیر را می‌توان ارائه نمود.

$$IE = CE \times AE = \frac{SW}{FW} \longrightarrow FW = \frac{SW}{IE} \qquad (۵۴-۷)$$

$$AE = \frac{SW}{IW} \longrightarrow IW = \frac{SW}{AE} \qquad (۵۵-۷)$$

که در آن:

IE = بازده کل آبیاری،

CE = بازده انتقال و توزیع آب آبیاری،

SW = آب(رطوبت) ذخیره شده در محدوده توسعه ریشه گیاه(هان)،

FW = آب آبیاری تامین شده و انتقال یافته به منطقه طرح،

AE = بازده(راندمان) کاربرد آب آبیاری و

IW = مقدار آب آبیاری وارده به واحد آبیاری.

1- Irrigation Efficiency.

۲- واحد آبیاری کوچکترین واحدی است که به‌طور معمول از یک کانال درجه ۴ آب می‌گیرد و بین ۶ تا ۱۰ هکتار وسعت دارد.

3- Application Efficiency.

۴- مزرعه مجموعه چند واحد آبیاری است که به‌طور معمول از یک کانال درجه ۳ آب می‌گیرد و بین ۶۰ تا ۱۰۰ هکتار وسعت دارد

باید متذکر گردید که CE یا بازده انتقال و توزیع آب آبیاری می‌تواند شامل دو بخش: بازده انتقال و بازده توزیع آب آبیاری باشد.

به عنوان مثال : هرگاه بازده انتقال و توزیع آب آبیاری CE = ۰/۸۴ (مشتمل بر دو بخش: بازده انتقال برابر با ۰/۹۵ و بازده توزیع معادل ۰/۸۸، یعنی : $CE = ۰/۹۵ \times ۰/۸۸ \approx ۰/۸٤$) و بازده کاربرد AE = ۰/۷۵ باشد و نیز چنانچه فرض گردد ظرفیت انبارش آب در مزرعه‌ای به مساحت یک هکتار با عمق معینی از ریشه گیاه(هان)، برابر با SW =۱۰۰ میلی‌متر باشد، مقدار کل آب آبیاری مورد نیاز که باید از منبع دریافت گردد برابر است با:

بازده کل آبیاری $IE = CE \times AE = ۰/۸٤(= ۰/۹۵ \times ۰/۸۸) \times ۰/۷۵ \approx ۰/٦۳$

که برای روش‌های آبیاری سطحی یا ثقلی بازده مطلوبی می‌باشد حال با کاربرد روابط ۷-۵۴ و ۷-۵۵ نتایج زیر حاصل می‌شود:

میلی‌متر $AE = \frac{SW}{IW} \longrightarrow IW = \frac{SW}{AE} = \frac{۱۰۰}{۰/۷۵} = ۱۳۳/۳$

متر ۰/۱۵۸۷ = میلی‌متر $IE = \frac{SW}{FW} \longrightarrow FW = \frac{۱۰۰}{۰/٦۳} = ۱۵۸/۷$

در روابط بالا:

IW = مقدار آب آبیاری وارده به واحد آبیاری، میلی‌متر و

FW = آب آبیاری تأمین شده و انتقال یافته به منطقه طرح.

بنابراین برای تأمین ۰/۱ متر (۱۰۰ میلیمتر) که در مزرعه‌ای یک هکتاری ($۱۰^۴$ مترمربع) ذخیره شود، حجم کل آب لازم از منبع تأمین آب آبیاری ۱۵۸۷ مترمکعب برآورد می‌گردد، از این مقدار ۲۵۴ مترمکعب در جریان انتقال و توزیع و ۳۳۳ مترمکعب آن در فرایند عملیات کاربرد آب آبیاری در مزرعه هدر می‌رود و فقط ۱۰۰۰ مترمکعب از آن صرف انبارش آب (رطوبت) خاک مزرعه می‌گردد. از این رو کل تلفات در این شرایط ۵۸۷ مترمکعب به ازای هر هکتار است.

برای کنترل صحت محاسبات می‌توان به روش زیر اقدام نمود.

$$SW = FW \times CE \times AE \qquad (۵۶-۷)$$

میلی‌متر ۱۰۰ = متر ۰/۱ = ۱۰/۰۰۰÷ مترمکعب در هکتار

$SW = ۱۵۸۷ \times ۰/۸٤ \times ۰/۷۵ = ۱۰۰۰$

تذکر این نکته نیز ضروری است که هدررفت آب آبیاری در مزرعه می‌تواند شامل دو بخش: رواناب سطحی[1] (SR) و نفوذ عمقی[2] (Dp) باشد، بخش نخست در شرایطی مانند استفاده از جویچه‌های با انتهای بسته، نوار یا کرت‌های مسطح در روش‌های آبیاری سطحی می‌تواند قابل کنترل باشد و بخش دوم (نفوذ عمقی) تابع عواملی از جمله، بافت و ساختمان لایه‌های متفاوت در نیمرخ خاک‌ها، عمق سطحی ایستابی، نفوذپذیری یا هدایت هیدرولیکی اشباع خاک و عمق استقرار لایه محدود کننده است. نفوذ عمقی در مواردی مانند اعمال روش کم آبیاری قابل تعدیل یا کاهش است و در شرایط دیگر وقوع آن را می‌توان « غیرقابل اجتناب » محسوب نمود. پیش نیاز نفوذ عمقی در مزرعه این است که شرایط رطوبتی محدوده توسعه ریشه(ها) معادل ظرفیت مزرعه و یا کمی بیشتر از آن باشد می‌توان چنین گفت که در شرایط استغراق دایم، مقدار نفوذ عمقی می‌تواند از ۱/۰ میلی‌متر در روز برای خاک‌های رسی تا ۵۰/۰ میلی‌متر در روز در خاک‌های شنی متغییر باشد.

- آب موردنیاز آبشویی

پیش از آغاز مطلب ضروری است برخی از اصطلاحات مرتبط تعریف شوند.

- نیاز آبشویی (LR)، عمق آب محاسبه شده (به‌صورت اعشاری) می‌باشد که لازم است افزون بر نیاز آبی گیاه برای جلوگیری از افزایش مقدار شوری، یون کلرید و یا سدیم در محلول خاک (هر یک که ضرورت بیشتری دارد) به زمین داده شود تا شوری خاک از حد تحمل گیاه مورد نظر تجاوز نکند، نیاز آبشویی برای حالت ماندگار(همگام) تعریف می‌شود که برابر میانگین درازمدت آن است.
- کسر آبشویی (LF)، بخشی از آب آبیاری کاربردی در مزرعه است که به بخش زیرین ناحیه توسعه ریشه گیاه نفوذ می‌نماید، در واقع کسر آبشویی را می‌توان جزئی از هدررفت

1-Surface Runoff.
2- Deep Percolation.

آب آبیاری محسوب نمود که به‌صورت نفوذ عمقی اجتناب ناپـذیر در عملیـات آبیـاری از دسترس گیاه خارج می‌گردد.

اینک با در نظر داشتن موارد بیان شده، در زیر به ارائه و حل برخـی مثـال‌هـای عملـی در ارتباط با اهداف این مجموعه اقدام می‌گردد.

مثال (**۱**)

به منظور بررسی امکانات شوری‌زدایی و برآورد آب مورد نیاز اصلاحی زمین‌ها (RR)، یک آزمون مزرعه‌ای در قطعه زمینی با کیفیـت شـیمیایی «شـوری و سـدیمی» در بخشـی از زمین‌های جنوب شرقی استان خوزستان به مورد اجرا درآمد. بافـت خـاک محـدوده مـورد بررسی لومی‌رسی تا رسی‌سیلتی و از نظر رده‌بندی جامع وزارت کشاورزی ایـالات متحـده آمریکا (USDA) تیپیک هاپلوسالید (Typic Haplosalid) بوده است. آب به کـار رفتـه در این بررسی از رودخانه زهره تامین گردید که میزان هدایت الکتریکی (EC_{iw}) و مقدار نسبت جذب سدیم (SAR_{iw}) آن به ترتیب ۱/۳۲ دسی‌زیمنس برمتـر (dS/m) و ۲/۵۴ میلی‌اکی‌والنت بر لیتر به توان ۰/۵ بوده است. عمق ناخالص آب به کار رفته برای آبشویی (Dw)، ۱۰۰ سانتی‌متر بوده که در چهار تناوب ۰/۲۵ متری به کـار رفتـه اسـت. میـانگین شوری (هدایت الکتریکی عصاره اشـباع خـاک) و میـانگین درصـد سـدیم تبـادلی خـاک (ESP) در چهار لایه نمونه‌برداری شده یعنی ۲۵-۰، ۵۰-۲۵، ۷۵-۵۰ و ۱۰۰-۷۵ سانتی-متری، به ترتیب $EC_i = ۳۹/۴۲$ دسی‌زیمنس بر متر و $ESP_i = ۳۷/۹۷$ (برای افق ۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متری از سطح خاک) محاسبه گردیـد، مقـدار کسـر رطوبـت طبقـه ۰ تـا ۱۰۰ سانتی‌متری نیمرخ خاک قبل از عملیات آبشویی در مجمـوع ۱۴/۹۷ سـانتی‌متـر (تـا حـد ظرفیت مزرعه) بوده است. میزان شوری تعادلی (EC_{eq}) لایـه ۵-۰ سـانتیمتری نیمـرخ خاک پس از کاربرد ۱۰۰ سانتی‌متر آب کاربردی (آبشویی) برابر با ۱/۷۴ دسی‌زیمـنس بـر متر گزارش شده است. این آزمون در کرت‌های مدل (Model plots) بـا حوضـچه‌هـای محافظ (Buffer pond) به انجام رسیده است. میزان شوری (هـدایت الکتریکـی عصـاره اشباع خاک) افق ۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متری نیمرخ خاک پس از آبشویی ۵/۰۸ دسی‌زیمنس بر متر گزارش شده است، میزان آب مورد نیاز اصلاح خاک (RR) را محاسبه نمایید.

حل:

الف- محاسبه ضریب بازده(راندمان) آبشویی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک:

در این آزمایش میزان شوری نهایی (EC_f) مربوط به لایه ۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متری خاک به ازای کاربرد ۱۰۰ سانتی‌متری آب آبشویی (Dw، سانتی‌متر) برابر با ۵/۰۸ دسی‌زیمنس بر متر مشخص شده است. کسر رطوبت لایه ۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متری نیمرخ خاک قبل از آبشویی برابر ۱۴/۹۷ سانتی‌متر بوده است. با توجه به این‌که شوری آب آبشویی ۱/۳۲ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد، مقدار ضریب مربوطه به‌شرح زیر محاسبه می‌شود.

$$R = \frac{Dw}{Dp}$$

$$f = \frac{R \,.\, EC_{iw}}{EC_f}$$

در رابطه بالا:

R = نسبت عمق آبشویی کاربردی (D_w) به نفوذ عمقی یا عمق خالص آب آبشویی (D_{lw})،

D_w = عمق ناخالص آب آبشویی یا کاربردی، متر یا سانتی‌متر،

D_p = نفوذ عمقی مترادف با عمق خالص آب آبشویی (D_{lw}) است که پس از تامین کسر رطوبت لایه‌های مربوطه به صورت تراوش‌های عمقی از نیمرخ خاک خارج می‌گردد، متر یا سانتی‌متر،

EC_{iw} = مقدار شوری (هدایت الکتریکی) آب آبشویی یا کاربردی، دسی‌زیمنس بر متر،

EC_f = شوری نهایی (هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک) لایه موردنظر پس از کاربرد مقدار معینی آب آبشویی (D_w) یا نفوذ عمقی ناشی از عملیات آبشویی (D_{lw} ، D_p) یا دسی‌زیمنس بر متر و

f = ضریب بازده(راندمان) آبشویی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک، بدون بُعد.

با استفاده از روابط گفته شده به‌شرح زیر اقدام می‌گردد:

$$R = \frac{Dw}{Dp} = \frac{۱۰۰}{(۱۰۰ - ۱٤/۹۷)} = ۱/۱۷٦$$

$$f = \frac{R.EC_{iw}}{EC_f} = \frac{۱/۱۷۶ \times ۱/۳۲}{۵/۰۸} = ۰/۳۱$$

میزان بازده آبشویی نمک‌های محلول محاسبه شده(f=۰/۳۱) با بافت خاک مورد آزمایش هم‌خوانی داشته و مؤید منطقی بودن نتایج حاصله می‌باشد.

ب- تحلیل آماری و ارائه مدل مناسب

ارقام و اعداد حاصل از اجرای آزمون شوری‌زدایی یعنی: هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک قبل از آبشویی، پس از کاربرد تناوب‌های مختلف آب آبشویی و پس از اتمام آزمون باید پردازش شود و با استفاده از نرم‌افزارهایی مانند SPSS ویرایش 16.0 مورد تجزیه و تحلیل آماری و برازش خم (Curve estimation) قرار گیرد، این اقدام در این آزمون به انجام رسید و ملاحظه گردید که مدل توانی (Power) با داشتن بزرگ‌ترین ضریب همبستگی (R^2 = ۰/۸۸۹) و خطای استانداردی (S.E) برابر با ۰/۴۱۳ در سطح معنی‌داری ۱ درصد، به‌عنوان « مدل برتر » است. رابطه حاصل شده به صورت زیر می‌باشد:

$$Y = ۰/۰۵۳X^{-۱/۱۵٤}$$

با جایگزینی متغییرهای مربوط به جای Y و X رابطه به‌صورت زیر در می‌آید*:

$$\left(\frac{EC_f - EC_{eq}}{EC_i - EC_{eq}}\right) = ۰/۰۵۳\left(\frac{Dlw}{Ds}\right)^{-۱/۱۵٤}$$

که آن را به صورت زیر نیز می‌توان نوشت:

$$\left(\frac{Dlw}{Ds}\right) = ۰/۰۷۸۵\left(\frac{EC_i - EC_{eq}}{EC_f - EC_{eq}}\right)^{۰/۸٦٦}$$

با استفاده از رابطه بالا، عمق خالص آب آبشویی را به‌شرح زیر می‌توان برآورد نمود:

$$Dlw = Ds\left[۰/۰۷۸۵\left(\frac{EC_i - EC_{eq}}{EC_f - EC_{eq}}\right)^{۰/۸٦٦}\right]$$

* علایم و نشانه‌های بکار رفته در روابط زیر معانی و ابعاد پیشین را دارا می‌باشند (به مبحث ۷-۳-۲، نیاز اصلاحی زمینها، و به زیرنویس‌های روابط ۷-۴۷ تا ۷-۵۰ رجوع شود).

پ – برآورد آب مورد نیاز اصلاحی خاک‌ها با استفاده از مدل تجربی حاصله

هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک، قبل از آبشویی تا عمق ۱/۰ متری نیمرخ خاک به‌طور میانگین، برابر با ۳۹/۴۰ دسی‌زیمنس بر متر اندازه‌گیری شده است. در نظر می‌باشد که این مقدار به ۸/۰ دسی‌زیمنس بر متر کاهش داده شود. شوری تعادلی عصاره اشباع خاک حاصل از اجرای آزمون آبشویی نمک‌های محلول، برابر با ۱/۷۴ دسی‌زیمنس بر متر گزارش شده است. در صورتی که اعماق موردنظر به‌منظور اصلاح خاک به‌ترتیب ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ سانتیمتر (از سطح خاک) منظور شود مقدار آب مورد نیاز اصلاحی چنین خاکی با کاربرد مدل تجربی حاصله چقدر خواهد بود؟

توجه: سهل‌تر آن است که ابتدا ضخامت لایه خاک (Ds) برابر با ۰/۲۵ متر به کار گرفته شود. بنابراین:

$$D_{lw} = ۰/۲۵\left[۰/۰۷۸۵\left(\frac{۳۹/۴ - ۱/۷۴}{۸/۰ - ۱/۷۴} \right)^{۰/۸۶۶} \right] = ۰/۰۹۳ \quad \text{متر}$$

به همین ترتیب عمق آب مورد نیاز اصلاحی سایر اعماق گفته شده به ترتیب ۰/۱۸۶، ۰/۲۷۹ و ۰/۳۷۲ متر برآورد می‌گردد و این بدان معنی است که برای آبشویی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک اعماق گفته شده به ترتیب ۹۳۰، ۱۸۶۰، ۲۷۹۰ و ۳۷۲۰ مترمکعب در هکتار آب باید مورد استفاده قرار گیرد.

تذکر: استفاده از رابطه اخیر تنها در محدوده نوع خاک، میزان شوری و درصد سدیم تبادلی اولیه نیمرخ خاک‌های محل اجرای آزمون می‌تواند مجاز باشد. با استفاده از این قبیل روابط می‌توان عمق آب مورد نیاز برای کاهش عملی میزان شوری برای عمق معینی از لایه خاک را برآورد نمود. مقادیر بدست آمده از این قبیل روابط نیاز خالص آب آبشویی نمک‌های محلول (برای اهداف شوری‌زدایی) خاک را نشان می‌دهد. برای برآورد کل میزان آب کاربردی لازم برای آبشویی خاک، ضرورت دارد که به مقادیر کسر رطوبت لایه مورد نظر(تا حد ظرفیت مزرعه)، به تبخیر(از سطح آب و خاک) و میزان بارندگی نیز توجه نموده و این عوامل را در محاسبات و برنامه‌ریزی‌های آبشویی و اصلاح خاک و زمین در نظر گرفت.

تذکر: در این مثال موارد مرتبط با شوری‌زدایی خاک[1] مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت، موارد سدیم‌زدایی خاک[2] از نظر روش تجزیه، تحلیل و نتیجه‌گیری مشابه شوری‌زدایی می‌باشد.

ث – مقایسه رابطه (مدل) تجربی حاصله با مدل تجربی ریو (۱۹۵۷)

به‌طوری‌که در مبحث ۷-۳-۲ گفته شد، شکل نهایی و کامل شده مدل تجربی ریو را به شرح زیر می‌توان ارائه نمود[3].

$$\left(\frac{EC_f - EC_{eq}}{EC_i - EC_{eq}}\right) = \frac{1}{5\left[\left(\frac{Dlw}{Ds}\right)-0/15\right]}$$ (۴۷-۷) مکرر

و همان‌گونه که پیش‌تر گفته شد، با استفاده از رابطه بالا می‌توان عمق خالص آب آبشویی لازم برای اصلاح خاک را به شرح زیر محاسبه نمود.

$$Dlw = Ds\left[\frac{1}{5}\left(\frac{EC_i - EC_{eq}}{EC_f - EC_{eq}}\right)+0/15\right]$$ (۴۸-۷) مکرر

با جایگزینی ارقام و اعداد ارائه شده در بند «پ» در رابطه بالا نتیجه زیر حاصل می‌گردد:

$$Dlw = 0/25\left[\frac{1}{5}\left(\frac{39/4-1/74}{8/0-1/74}\right)+0/15\right] = 0/34$$ متر

و به همین ترتیب عمق آب مورد نیاز اصلاحی سایر اعماق بیان شده به ترتیب ۰/۶۸ ، ۱/۰۲ و ۱/۳۶ متر برآورد می‌گردد و این بدان معنی است که برای آبشویی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک با اعماق بیان‌شده به ترتیب ۳۴۰۰، ۶۸۰۰، ۱۰۲۰۰ و ۱۳۶۰۰ مترمکعب در هکتار برآورد می‌شود.

به‌طوری‌که ملاحظه می‌گردد مقادیر آب مورد نیاز اصلاحی خاک‌ها با استفاده از رابطه تجربی و کامل شده ریو (۱۹۵۷) به‌طور تقریبی ۳/۶۵ برابر مقادیر برآورد شده از رابطه

1- Desalinization.

2- Desodification.

۳- شکل اولیه رابطه تجربی ریو (۱۹۵۷) در مبحث ۷-۳-۲ ، نیاز اصلاحی زمین‌ها، به وسیله روابط ۷-۴۱ و ۷-۴۲ ارائه شده است.

جدید و منطقه است که علت عدم تناسب کاربرد مدل اخیر را به اثبات می‌رساند. پژوهشگران متعددی مورد مشابه‌ای را گزارش نموده‌اند که به دلیل متفاوت بودن نوع خاک‌های مورد آزمون، مقادیر شوری (و احتمالاً نوع نمک‌ها، میزان انحلال پذیری آنها و...) و درصد سدیم تبادلی اولیه خاک‌های مورد آزمایش، شرایط اجرای آزمون و سایر متغیرهای مربوطه و اثرگذار می‌باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که برآورد آب مورد نیاز اصلاحی خاک‌های کشور، با استفاده از مدل تجربی ریو (و حتی شکل کامل شده آن) نمی‌تواند دقیق باشد.

• مثال (**۲**)

در مزرعه‌ای سورگوم(ذرت خوشه‌ای) کشت گردیده که روش آبیاری آن کرتی و بافت خاک مزرعه لومی و همگن می‌باشد. میزان هدایت الکتریکی(شوری) آب آبیاری کاربردی (EC_{iw}) برابر با ۱/۲ دسی‌زیمنس برمتر، تبخیر و تعرّق (ET) روزانه گیاه ۵ میلی‌متر و تناوب کاربرد آب آبیاری ۲۰ روز می‌باشد که بدین‌ترتیب برای رفع نیاز آبی(خالص) گیاه ۱۰۰ میلی‌متر در هر تناوب(دوره) آبیاری، آب در اختیار گیاه قرار گیرد، هرگاه بازده (راندمان) کاربرد آب در مزرعه (Ea) برابر با ۰/۶۵ (یا ۶۵٪) باشد بنابراین در عمل باید ۱۵۵ میلی‌متر آب آبیاری در هر بار مصرف گردد (۱۵۵=۰/۶۵÷۱۰۰) تا نیاز آبی گیاه برطرف شود. در این شرایط چه مقدار آب اضافی به‌منظور « نیاز آبشویی» برای حفظ و کنترل نمک‌های محلول در محدوده توسعه ریشه گیاه باید به‌کار برده شود؟

حل:

ابتدا با استفاده از جداول موجود در منابع مرجع، میزان هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک برای عملکرد ۹۰ درصد محصول سورگوم(ذرت خوشه‌ای) برابر با ۵/۱ دسی‌زیمنس برمتر (dS/m) استخراج می‌گردد. سپس با کاربرد رابطه ۷-۲۸ نیاز آبشویی (LR) به شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$LR = \frac{EC_{iw}}{EC_{dw}}$$ (۷-۲۸) مکرر

$$LR = \frac{۱/۲}{۵/۱} = ۰/۲۳$$

در مرحله بعد با کاربرد رابطه ۷-۵۳ میزان آب مورد نیاز برای تامین نیاز آبی گیاه و نیاز آبشویی به شرح زیر به‌دست می‌آید:

$$AW = \frac{ET}{۱-LR}$$ (۷-۵۳) مکرر

$$AW = \frac{۵\times۲۰}{۱-۰/۲۳} = \frac{۱۰۰}{۰/۷۷} \approx ۱۳۰$$ عمق آب آبیاری در هر دوره، میلی‌متر

اینک برای کنترل محاسبات با استفاده از روابط ۷-۵۱ و ۷-۵۲ نتایج حاصله بررسی می‌گردد.

$$D_{iw} = D_{cw}(ET) + D_{dw}$$ (۷-۵۱) مکرر

$$D_{iw} = ۱۰۰ + ۳۰(=۱۳۰-۱۰۰) = ۱۳۰$$ میلی‌متر

$$D_{iw} = \left(\frac{D_{cw}(ET)}{۱-LR}\right) = \left[\frac{EC_{dw}}{EC_{dw}-EC_{iw}}\right] . D_{cw}(ET)$$ (۷-۵۲) مکرر

$$D_{iw} = \left(\frac{۱۰۰}{۰/۷۷}\right) = \left(\frac{۵/۱}{۵/۱-۱/۲}\right)\times۱۰۰ = ۱۳۰$$ عمق آب آبیاری در هر دوره، میلی‌متر

تذکر: استفاده از روابط گفته شده که در سال (۱۹۵۴) به وسیله آزمایشگاه شوری ایالات متحده (USSL) ارائه گردیده است برای سالیان متمادی در اکثر کشورهای جهان از جمله کشورمان عمومیت کاربرد داشته است.

نکته: انتخاب میزان شوری (هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک) برای دست‌یابی به ۹۰٪ حداکثر عملکرد محصول (۱۰٪ کاهش عملکرد محصول یا بیشتر از آن) بدین‌دلیل است که عوامل دیگری بجز « شوری» در اکثر شرایط به عملکرد محصول نیز می‌توانند اثرگذار باشند.

نتیجه: نظر به این‌که در عمل باتوجه به بازده(راندمان) کاربرد آب آبیاری در مزرعه، ۱۵۵ میلی‌متر آب در هر دوره آبیاری به مصرف می‌رسد که از مقدار آب مورد نیاز آبیاری نظری

(AW) زیادتر است (یعنی ۱۳۰<۱۵۵ میلی‌متر) بنابراین در چنین شرایطی نیاز به اعمال مقدار آب لازم به‌عنوان « نیاز آبشویی (LR)» نمی‌باشد زیرا به‌جای ۳۰ میلی‌متر آب مورد نیاز آبشویی در عمل ۵۵ میلی‌متر به عنوان نفوذ (تراوشات) عمقی از بخش زیرین منطقه توسعه ریشه گیاه خارج گردیده و در عمل حفظ و کنترل بیلان آب و نمک‌های محلول در نیمرخ خاک را به‌انجام می‌رساند.

توجه: راه‌کار ارائه شده در این مثال می‌تواند برای یک دوره آبیاری، یک فصل زراعی و یا یک سال به انجام رسد، لیکن توصیه می‌گردد در شرایط ضرورت کاربرد این روش دوره زمانی موردنظر یک فصل و یا سال زراعی در نظر گرفته شود. هرچند راه‌کار بیان‌شده در مثال بعدی علمی‌تر بوده و نتایج مطلوب‌تری را حاصل می‌نماید.

• مثال (**۳**)

در مزرعه‌ای گیاه ذرت کشت گردیده که روش آبیاری آن جویچه‌ای(شیاری) و بافت خاک مزرعه لومی و یکنواخت است. میزان شوری (هدایت الکتریکی) آب آبیاری مصرفی (EC_{iw}) برابر با ۱/۲ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد. مقدار تبخیر و تعرّق (ET) برابر با ۸۰۰ میلی‌متر برای دوره زراعت گزارش شده است. هرگاه بازده (راندمان) کاربرد آب در مزرعه (Ea) برابر با ۰/۶۵ (یا ۶۵ درصد) باشد. بنابراین در عمل باید ۱۲۳۰ میلی‌متر آب آبیاری در طول فصل زراعی (۱۲۳۰=۰/۶۵÷۸۰۰) به منظور رفع نیاز آبی گیاه(ذرت) به‌مصرف برسد. در این شرایط چه مقدار آب اضافی برای « نیاز آبشویی» باید به کار برده شود؟

حل:

ابتدا با استفاده از جداول موجود در منابع مرجع، میزان هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک برای عملکردهای۹۰ و ۱۰۰٪ محصول ذرت به ترتیب برابر با ۲/۵ و ۱/۷ دسی‌زیمنس برمتر قابل دست‌یابی است. اینک با کاربرد رابطه ۷-۴۰ نیاز آبشویی (LR) به شرح زیر محاسبه می‌گردد:

$$LR = \frac{EC_{iw}}{5\,(EC_e) - EC_{iw}}$$ (۷-۴۰) مکرر

الف- برای عملکرد ۹۰ درصد محصول ذرت.

$$LR = \frac{۱/۲}{۵\ (۲/۵) - ۱/۲} = ۰/۱۰$$

ب – برای عملکرد ۱۰۰ درصد محصول ذرت.

$$LR = \frac{۱/۲}{۵\ (۱/۷) - ۱/۲} = ۰/۱۶$$

در مرحله بعد با کاربرد رابطه ۷–۵۳ میزان آب مورد نیاز برای تامین نیاز آبی گیاه و نیاز آبشویی (برای عملکرد ۹۰ درصد محصول ذرت) بشرح زیر بدست می‌آید.

$$AW = \frac{ET}{۱ - LR}$$ (۷–۵۳) مکرر

میلی‌متر در فصل زراعی $AW = \frac{۸۰۰}{۱ - ۰/۱۰} = ۸۹۰$

هرگاه با همین روش محاسبات برای عملکرد ۱۰۰درصد محصول ذرت به‌انجام رسد، $AW = ۹۵۰$ میلی‌متر در فصل زراعی حاصل می‌گردد.

نتیجه‌گیری: از آنجایی که میزان عمق آب کاربردی برای عملیات آبیاری گیاه ذرت در عمل ۱۲۳۰ میلی‌متر محاسبه گردیده (با راندمان کاربرد آب آبیاری برابر با ۶۵ درصد) که در نتیجه آن ۸۰۰ میلی‌متر نیاز آبی گیاه(ذرت) با اطمینان تامین خواهد شد و این رقم بسیار بیش‌تر از ۸۹۰ میلی‌متر عمق آب آبیاری موردنیاز گیاه و نیاز آبشویی (LR) محاسبه شده می‌باشد. اینک این موضوع مطرح است که آیا مقادیر آب کاربردی افزون بر نیاز آبی (خالص) گیاه که به‌صورت نفوذ یا تراوشات عمقی حاصل می‌گردد برای رفع نیاز آبشویی کفایت می‌نماید. پاسخ به این مورد آن است که مقادیر تراوشات عمقی (نفوذ) افزون بر ۰/۱۵ «کسر آبشویی» که ارقام حد تحمل گیاه به شوری برای عملکردهای ۹۰ و ۱۰۰ درصد براساس آن حاصل گردیده (یعنی ۲/۵ و ۱/۷ دسی‌زیمنس بر متر) می‌باشد. بنابراین در مثال تشریح شده به‌دلیل قابل‌ملاحظه بودن تراوشات عمقی، نیازی به کاربرد آب اضافی در عملیات آبیاری برای اهداف حفظ و کنترل بیلان آب و نمک‌ها در محدوده توسعه ریشه گیاه برای عملکردهای ۹۰ و ۱۰۰ درصد محصول گیاه ذرت وجود نخواهد داشت، زیرا تراوش‌های عمقی(نفوذ) آب کاربردی برای آبیاری بسیار قابل ملاحظه است و حتی اگر آب آبیاری موردنیاز برای ۱۰۰ درصد عملکرد محصول منظور شود شرایط [میلی‌متر ۸۹۰ <۹۵۰< ۱۲۳۰] نیز برقرار می‌باشد.

نکته: به‌طوری‌که در بخش ۳ به آن اشاره شد. هرگاه تفاوت مقدار نفوذ یا تراوشات عمقی حاصل از کاربرد آب آبیاری و نیاز آبشویی (LR) بیشتر از ۳۰ درصد نیاز آبشویی باشد. کاربرد مقادیر آب اضافی برای آبشویی نمک‌های محلول در محدوده توسعه ریشه گیاه ضرورت نخواهد داشت، حال با اعمال این توصیه موارد بیان شده در مثال بالا بررسی می‌گردد.

– میزان هدررفت آب آبیاری کاربردی(شامل نفوذ یا تراوش‌های عمقی)،میلی‌متر ۱۲۳۰–۸۰۰=۴۳۰
– مقدار آب اضافی لازم برای نیاز آبشویی، میلی‌متر ۸۹۰–۸۰۰=۹۰
– تفاوت میزان هدررفت آب آبیاری کاربردی و نیاز آبشویی، میلی‌متر ۴۳۰–۹۰=۳۴۰
– محاسبه ۳۰٪ میزان تفاوت هدررفت آب آبیاری کاربردی و نیاز آبشویی، میلی‌متر ۳۴۰×۰/۳ =۱۰۲

– مقایسه مقدار آب مورد نیاز آبشویی با ۳۰ درصد میزان تفاوت آب آبیاری و نیاز آبشویی ۱۰۲>۹۰

بنابراین بار دیگر ملاحظه می‌گردد که در شرایط گفته شده ضرورتی برای کاربرد آب اضافی برای « نیاز آبشویی» نمی‌باشند.

توجه: همان‌طوری که در مبحث ۷–۳–۱ به آن اشاره شد، هرگاه غلظت زه‌آب یا تراوش‌های عمقی که از بخش زیرین محدوده توسعه ریشه گیاه(هان) خارج می‌گردد موردنظر باشد می‌توان از رابطه (۷–۱۴) استفاده نمود :

$$N = \frac{۱}{LF}$$ (۷–۱۴) مکرر

به‌عنوان مثال، هرگاه غلظت یون کلرید (Cl^-)در آب کاربردی مثال مورد بحث برابر ۱/۲۵ میلی‌اکی‌والنت برلیتر باشد، با استفاده از رابطه بالا «ضریب غلظت» آن در شرایطی که LF= ۰/۱۵ در نظر گرفته شود برابر با :

$$N = \frac{۱}{۰/۱۵} = ٦/٧$$

خواهد بود و این بدان معنی است که غلظت یون کلرید خروجی به‌وسیله تراوش‌های عمقی آب کاربردی ۶/۷ برابر غلیظتر می‌گردد و مقدار آن در آب زهکشی ۸/۴ (= ۱/۲۵×۶/۷) میلی‌اکی‌والنت در لیتر پیش‌بینی می‌شود هر چند با همین روش می‌توان میزان شوری (هدایت

الکتریکی) عصاره اشباع خاک بخش زیرین منطقه توسعه ریشه گیاه(هـان) یعنـی EC_{dw} را برآورد نمود، لیکن انتخاب یون کلرید به‌دلیل عدم شرکت در واکنش‌هـای شـیمیایی محلـول خاک مناسب‌تر توصیه شده است.

پیوست‌ها

پیوست شماره یک

حفاظت از منابع فیزیکی تولید (خاک و آب)

- وضعیت منابع آب و آبیاری در ایران

ایران با مساحت کل ۱/۶۵ میلیون کیلومترمربع در منطقه خاورمیانه و در بخش جنوب غربی قاره آسیا واقع شده است. ایران، از جمله معدود کشورهای باستانی و افسانه‌ای جهان به‌شمار می‌آید که دارای پیشینه تاریخی پنج هزار ساله می‌باشد. جمعیت کشور حدود ۷۰/۵ میلیون نفر است که ۲۲/۲ میلیون نفر آن در بخش کشاورزی فعالیت دارند(طبق برآورد انجام شده سال در ۱۳۸۶).

کشور ایران از شمال با کشورهای آذربایجان، ارمنستان، ترکمنستان و دریای مازندران و از سمت شرق با کشورهای افغانستان و پاکستان، از جنوب به دریای عمان و خلیج فارس و سرانجام از غرب با کشورهای عراق و ترکیه هم جوار می‌باشد. نزدیک به ۵۲ درصد مساحت کل کشور را کوه‌ها و کویرها تشکیل می‌دهد. طولانی‌ترین رشته کوه‌های کشور را «زاگرس» تشکیل می‌دهد که از شمال غربی کشور تا سواحل خلیج فارس امتداد داشته و سپس به سمت شرق تا منتهی‌الیه استان‌های جنوب‌شرقی کشور گسترش یافته است.

- وضعیت زمین‌ها (اراضی)

از حدود ۱۶۵ میلیون هکتار زمین‌های کل کشور، مساحتی برابر با ۳۷ میلیون هکتار آن دارای قابلیت کشت و کار است. لیکن در حال حاضر، فقط از ۱۹/۵ میلیون هکتار زمین‌های قابل کشت به‌طور واقعی استفاده می‌شود. مساحت زمین‌های تحت پوشش جنگل‌ها در کشور ۱۲/۴ میلیون هکتار برآورد شده و زمین‌های مرتعی، کوهستانی و کویرهای کشور باقیمانده مساحت زمین‌های کشور را تشکیل می‌دهند. قابل ذکر است که فلات‌های مرکزی و شرقی ایران محدوده‌ای برابر با نیمی از مساحت کل کشور را شامل می‌شوند.

- شرایط اقلیمی (آب و هوایی)

وضعیت اقلیمی نقاط مختلف کشور از ناحیه‌ای به منطقه دیگر متفاوت است. به‌طوری‌که در فصل زمستان، دما در مناطق کوهستانی به ۳۰- درجه سانتی‌گراد می‌رسد ،در حالی‌که در جلگه خوزستان تابستان دوره‌ای فوق‌العاده گرم، مرطوب با متوسط دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد دارد. در بیشتر مناطق فلات مرکزی، شرایط آب هوای گرم وجود دارد که فصل زمستان در این نواحی ملایم و مطبوع است. میزان بارندگی سالیانه فلات مرکزی کشور حدود ۵۰ میلی‌متر گزارش شده است. سواحل دریای مازندران در کشور تنها ناحیه‌ای است که منطقه «پر باران» با متوسط سالیانه ۱۶۰۰ میلی‌متر محسوب می‌گردد. به‌طور کلی کشور ایران دارای هشت منطقه یا ناحیه اقلیمی می‌باشد که از شرایط «بسیار خشک» تا «بسیار مرطوب» متغیر می‌باشند. این در شرایطی است که متوسط بارندگی سالیانه در کشور حدود ۲۵۰ میلی‌متر می‌باشد.

- منابع آب (سطحی و زیرزمینی)

طبق برنامه جامع آب کشور، مقدار سالیانه ریزش‌های آسمانی (باران و برف) در سطح کشور به‌عنوان شاخص‌ترین منبع تامین منابع آب به میزان حدود ۴۱۳ میلیارد مترمکعب برآورد شده است که از این مقدار ۹۳ میلیارد مترمکعب بصورت رواناب، ۲۵ میلیارد مترمکعب به آبخوان‌های زیرزمینی و باقیمانده آن به‌صورت غیرقابل کنترل بصورت تبخیر و تعرق از سطح خاک، گیاهان (زراعی، باغی)، جنگل‌ها، مراتع و مناطق مورد زراعت دیم و بخشی نیز به‌صورت رواناب سطحی یا جریان‌های آب زیرزمینی از کشور خارج می‌گردد. علاوه بر تامین منابع آب کشور از ریزش‌های آسمانی، ۱۲ میلیارد مترمکعب به‌وسیله رودخانه‌های مرزی به کشور وارد می‌شود که بدین ترتیب حجم کل منابع آب سطحی کشور به ۱۰۵ میلیارد مترمکعب در سال بالغ می‌گردد. با منظور نمودن ۲۵ میلیارد مترمکعب آب‌های زیرزمینی، حجم کل منابع آب «تجدید شونده» کشور را باید ۱۳۰ میلیارد مترمکعب در سال به‌شمار آورد.

بررسی‌ها نشان می‌دهند که حدود ۹۰ میلیارد مترمکعب از کل منابع آب تجدید شونده کشور در بخش‌های کشاورزی، صنعت، معدن و مصارف شهری به‌شرح زیر:

الف- ۸۳/۰ میلیارد مترمکعب یا ۹۲ درصد در بخش کشاورزی،

ب – ۵/۵ میلیارد مترمکعب یا ۶ درصد برای مصارف شهری و
پ – باقیمانده آن در بخش صنعت و یا سایر موارد به مصرف می‌رسد.
با توجه به عرضه موردنیاز و اهمیت تامین آن از دیدگاه حفاظت منابع آب، کارشناسان ایرانی اهتمام لازم را از راه توسعه طرح‌های منابع آب و گسترش زمین‌های مورد آبیاری به‌گونه بسیار مطلوبی به‌انجام رسانیده که نتیجه آن طراحی و ساخت ۱۹۵ سد بزرگ، ۳۲۰ سد کوچک و تجهیز سامانه‌های آبیاری و زهکشی متناسب با آن‌ها بوده است. افزون بر این، ۸۸ سد بزرگ و کوچک نیز در مرحله ساخت بوده و ۱۷۶ سد دیگر در مرحله مطالعات می‌باشند.

- کشاورزی و آبیاری

همان‌گونه که پیش‌تر گفته شد، ایران ۱۶۵ میلیون هکتار مساحت دارد که ۳۷ میلیون هکتار آن قابل‌کشت می‌باشد. از مقدار اخیر، ۸/۷ میلیون هکتار به‌صورت فاریاب (تحت آبیاری)، ۶/۴ میلیون هکتار به شکل کشاورزی دیم (زراعی و در بعضی موارد باغی) و سرانجام ۴/۵ میلیون هکتار به حالت آیش مورد استفاده قرار می‌گیرد. از رقم ۸/۷ میلیون هکتار اراضی تحت آبیاری در کشور، مساحتی نزدیک به ۸/۱ میلیون هکتار به‌روش آبیاری سطحی (ثقلی) و ۰/۶ میلیون هکتار به روش تحت فشار آبیاری می‌شوند، مساحت‌های بیان شده به ترتیب مترادف با ۹۵ درصد (آبیاری سطحی) و ۵ درصد (آبیاری تحت فشار) می‌باشند. به‌طور کلی بخش کشاورزی سهم با اهمیتی در اقتصاد ملی، تولید مواد غذایی و فرآورده‌های خام صنعتی در کشور دارد.
همچنین قابل ذکر است که مساحت برابری با اراضی فاریاب و دیم در کشور برای تولید محصولات موقت قابل تخصیص گزارش گردیده، لیکن تولیدات زمین‌های مورد آبیاری بخش اساسی را در تولید فرآورده‌ها و محصولات کشاورزی دارا است زیرا تغییرات زمانی و مکانی ریزش‌های آسمانی در کشور بسیار نامطلوب می‌باشد. به‌طوری که طی پنج سال گذشته، حدود ۸۹ درصد کل تولیدات کشاورزی از زمین‌های تحت آبیاری و فقط ۱۱ درصد آن از زمین‌های مورد زراعت دیم حاصل شده است که مقادیر بیان شده در سطح جهان به ترتیب ۴۰ درصد (از زمین‌های فاریاب) و ۶۰ درصد (از زمین‌های دیم) در دوره مشابه بوده است.

توانمندی بخش کشاورزی ایران در مقایسه با سایر کشورهای جهان نمایانگر وضعیت «مطلوب و مناسب بودن» آن می‌باشد. به‌طوری که پس از کشورهای هندوستان، چین، ایالات متحده آمریکا و پاکستان، ایران در رتبه پنجم از نظر مساحت زمین‌های تحت آبیاری و در رتبه بیستم از نظر کل مساحت زمین‌های مورد کاربرد در کشاورزی قرار دارد. با ملاحظه مجدد رقم ۸/۷ میلیون هکتار زمین‌های تحت آبیاری کشور که مترادف با سهم تقریبی حدود ۱۲۰ هکتار بازای هر ۱۰۰۰ نفر (جمعیت) می‌باشد و مقایسه آن با ۴۵ هکتار [میانگین جهانی زمین‌های تحت آبیاری جهان (AWIA)] به‌ازای هر ۱۰۰۰ نفر می‌توان دریافت که نسبت مساحت به نفر (Per Capita Area) زمین‌های تحت آبیاری به‌طور تقریبی ۲/۵ برابر معیار جهانی است.

پیوست شماره دو

برخی موارد لازم به تعمق در مورد تشکیل، تکامل و هدر رفت خاکها

- عوامل (نیروهایی) که در طبیعت باعث تخریب سنگهای (مادری) و تبدیل آنها به خاک لایه زیرین می‌باشند ،کدامند.
- هوموس و خاکهای تورب (پیت) از چه منابعی تشکیل می‌گردند.
- تفاوت بین حالتهای: تهی شدن، آبشویی و فرسایش خاکها ،چیست.
- تعدادی از گیاهان زراعی ردیفی و پوششی که در تناوب‌های زراعی کشور مرسوم می‌باشند را بیاد داشته باشیم.
- چگونه عملیات تولید افزون بر نیاز، در گذشته موجب تهی شدن خاکهای زراعی گردیده است.
- به چه صورت عملیات شخم عمیق و کشت و کار باعث آبشویی مواد غذایی خاک بخصوص در زمین‌های سبک تا متوسط می‌گردد.
- راهکارهای موثر برای حفظ و یا حتی افزایش مواد آلی خاک کدامند.
- چگونه فرسایش «شیاری» به فرسایش «گودالی یا خندقی» تبدیل می‌گردند، مراحل توسعه این حالت تخریب (فرسایش خاک) چگونه شکل می‌گیرد.
- به چه دلیل(هایی) گیاهان ردیفی در تناوب با گیاهان پوششی در زراعت «نواری» جایگزین می‌شوند.
- احداث یا ایجاد تراس‌ها (تراس بندی) در چه شرایطی توجیه و توصیه می‌گردد.
- دو روش موثر برای کنترل (جلوگیری) یا ممانعت از توسعه خندق (گودال)های بزرگ کدامند.
- با استفاده از چه روشهایی می‌توان از فرسایش بادی جلوگیری نمود؟ آیا می‌توان از کلیه این راهکارها در مناطق مختلف استفاده نمود و یا اینکه برخی از آنها موارد کاربرد ناحیه ای دارند.

پیوست شماره سه
شرح اجمالی رده‌های خاک که دارای لایه‌ها و یا افق‌های شور و سدیمی می‌باشند

• در رده‌بندی خاک‌ها لایه‌ای به نام افق تعریف شده که دارای ویژگی‌های خاص می‌باشد، این افق حداقل ۱۵ سانتی‌متر ضخامت داشته و محل تجمع نمک‌های محلول‌تر از گچ (ژیپس) در خاک است.

این لایه، حداقل سه ماه از سال دارای قابلیت هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع (ECe) بیش‌تر از ۳۰ دسی‌زیمنس‌برمتر (dS/m) بوده و حاصل‌ضرب ضخامت لایه خاک در میزان هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع (برحسب دسی‌زیمنس‌برمتر) مساوی و یا بیش‌تر از ۹۰۰ می‌باشد. بدیهی است، هر خاکی که دارای افق سالیک[1] باشد "شور" تلقی خواهد شد لیکن خاک‌هایی که ویژگی‌های گفته شده را نداشته باشند نیز می‌توانند شور[2] باشند. طبق تعریفی که برای خاک‌های شور ارایه شده و بدون منظور داشتن عملکرد گیاهان (زراعی و باغی) نسبت به شوری خاک، تا به زمان حاضر ملاک تفکیک و طبقه‌بندی خاک‌های شور، قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک به میزان بیشتر از ۴ دسی‌زیمنس‌برمتر است. بنابراین می‌توان خاک‌های شوری را یافت که فاقد افق "سالیک" باشند.

• در مورد سدیمی بودن (قلیائیت) خاک‌ها، افق خاصی تعریف نشده و خاک‌هایی که به‌طورمعمول دارای نسبت جذب سدیم (SAR) بیش‌تر از ۱۳ و یا درصد سدیم تبادلی (ESP) بیش‌تر از ۱۵ باشند، سدیمی منظور می‌گردند. در رده‌بندی خاک‌ها افق ناتریک[3] دارای چنین ویژگی‌هایی است، لیکن شرط اولیه در این حالت وجود لایه‌ای با ویژگی‌های افق آرجلیک[4] است. بنابراین در افق ناتریک، به‌طور یقین مقادیر نسبت جذب سدیم (SAR) و یا درصد سدیم تبادلی (ESP) گفته شده را دارا می‌باشند همچنین خاک‌هایی

1- Salic
2- Saline
3- Natric
4- Argillic

نیز وجود دارند که با دارا بودن مقادیر اشاره شده (SAR و ESP) بیش‌تر از ۱۳ و یا ۱۵ بوده لیکن افق ناتریک نمی‌باشند. این ویژگی‌ها دراغلب‌موارد در رده‌بندی خاک‌ها لحاظ می‌گردد و به‌طورکلی تا سطح تحت‌گروه، در اکثر حالت‌ها بیان آن با پیشوند سدیک[۱] وجود دارد.

با توجه به اهداف این پیوست، رده خاک‌هایی که در ایران گسترش و وسعت قابل توجهی نیز دارند، به طور عمده شامل: رده‌های اریدی‌سولز[۲] ، مولی‌سولز[۳] ، آلفی‌سولز[۴] ، اینسپتی‌سولز[۵] و آنتی‌سولز[۶] می‌باشند. شوری و سدیمی بودن خاک‌ها در این رده‌ها، در سطوح متفاوت موردنظر می‌باشد که در زیر به اختصار تشریح می‌گردند.

- رده خاک‌های اریدی‌سولز:

این خاک‌ها به‌طورکلی برای گیاهان مزوفیت[۷] در طولانی‌مدت کمبود رطوبت دارند و در مناطق مختلف دارای یک یا چند افق مشخصه[۸] می‌باشند. به‌طورمعمول خاک لایه سطحی از نظر مواد آلی فقیر بوده و در بیشتر ایام سال که درجه حرارت (دما) برای رشد گیاهان مناسب است، فاقد رطوبت کافی بوده و دارای رژیم رطوبتی خشک[۹] می باشند. گرچه سطوح وسیعی از از این زمین‌ها دارای قابلیت کشت آبی (فاریاب) هستند، لیکن به‌طور طبیعی پوشش گیاهی ضعیفی دارند. این رده خاک‌ها شامل هفت تحت‌رده است که در تحت‌رده سالیدز[۱۰] عامل شوری به‌طورمشخص و در سطح دوم رده‌بندی مطرح شده و شامل خاک‌هایی است که دارای افق سالیک می‌باشند. تحت‌رده دیگر آرجیدز[۱۱] می‌باشد که افق سدیمی ناتریک در گروه‌بزرگ آن‌ها مشاهده شده و به‌نام ناترآرجیدز[۱۲] نامیده می‌شوند.

1- Sodic
2- Aridisols
3- Mollisols
4- Alfisols
5- Inceptisols
6- Entisols
7- Mesophyte
8- Diagnostic Horizon
9- Aridic
10 - Salids
11- Argids
12- Natrargids

همان‌طوری که گفته شد بسیاری از خاک‌های این رده دارای میزان شوری بیش از ۴ دسی زیمنس‌برمتر بوده، لیکن به‌دلیل آن‌که فاقد شرایط افق سالیک می‌باشند، ذکری از آن نمی‌گردد، در هر حال این خاک‌ها به‌طورمعمول دارای نسبت جذب سدیم (SAR) بیشتر از ۱۳ و یا درصد سدیم تبادلی (ESP) زیادتر از ۱۵ بوده که در تحت‌گروه با پیشوند سدیک مشخص می‌گردند که می‌توان به عنوان مثال به سدیک‌هاپلوکلسیدز[1] اشاره نمود. باید متذکر شد که وجود افق ناتریک نیز به‌جز در خاک‌های ناترارجیدز[2] ، به‌عنوان پیشوند در تحت‌گروه ارایه می‌شود که ناتریک‌پتروکلسیک[3] از آن جمله می‌باشد.

به طورکلی خاک‌های رده اریدی سولز در سطح خاک اغلب دارای افق اکریک[4] یا آنتروپیک[5] بوده و در طبقات زیرین دارای افق‌های آرجلیک ، کمبیک[6] ، پتروکلسیک[7] ، جیپسیک[8] ، پتروجیپسیک[9] و دوری‌پَن[10] می‌باشند که مرز (کران) بالایی آن‌ها در عمق کمتر از ۱۰۰ سانتی‌متری از سطح خاک قرار گرفته است.

- رده خاک‌های مولی‌سولز[11]:

در این رده خاک‌ها، وجود افق سطحی مالیک[12] از جمله شروط اساسی است، لایه‌ای که به دلیل وجود مواد آلی دارای رنگ تیره می‌باشد. با توجه به وجود سایر افق‌های مشخصه و یا شرایط دیگر حاکم بر تشکیل و تکامل خاک‌ها تحت رده‌ها و اجزای زیرین تفکیک می‌گردند. در این رده خاک‌ها به دلیل شرایط رطوبتی غیرخشک کمتر موارد شوری و

1- Sodic Haplocalcids
2- Natrargids
3- Natric Petrocalcids
4- Ochric
5- Antropic
6- Cambic
7- Petrocalcic
8- Gypsic
9- Pertogypsic
10- Duripan
11- Mollisols
12- Mallic

سدیمی بودن در آن‌ها مطرح است لیکن عاری از این مسایل نیز نمی‌باشند به‌عنوان‌مثال از خاک‌هایی که گرایش به شوری دارند از تحت گروه‌های سالیدیک کلسی‌یوستولز[۱] و سالیدیک‌هاپلویوستولز[۲] و از خاک‌های سدیمی می‌توان به گروه ناتریک‌دوری‌اکوولز[۳] اشاره اشاره نمود. خاک‌های رده مولی‌سولز به‌صورت‌معمول به حالت علف‌زارهایی هستند که گاهی در ایامی از سال با کمبود رطوبت مواجه می‌شوند. گرچه در شرایطی خاک‌های باتلاق‌های مرطوب را نیز در بر می‌گیرند.

رده خاک‌های الفی‌سولز :

در این رده خاک‌ها فرآیند انتقال و تجمع رس[۴] در افق‌های زیرین و تشکیل افق آرجلیک از شرایط اولیه تشکیل آن است. این افق (آرجلیک) گاهی دارای تجمع سدیم (Na) نیز می‌باشد که ویژگی‌های افق ناتریک را دارا بوده و از این نظر جزء خاک‌های سدیمی محسوب می‌شوند. این رده خاک‌ها نمی‌توانند دارای افق سالیک باشند لیکن میزان شوری در حد کمتر از افق سالیک در بعضی از خاک‌های این رده نیز دیده می‌شود و در شرایطی مقادیری شوری با سدیمی بودن نیز به همراه می‌باشد که تحت‌گروه سالیدیک‌ناتریوستالفز[۵] از آن جمله است. در خاک‌های رده مالی‌سولز افق ناتریک در گروه‌بزرگ تفکیک می‌گردد که از آن جمله می‌توان خاک‌های ناتریودالفز[۶]، ناتراکوالفز[۷]، ناتریوستالفز[۸] و ناترزرالفز[۹] را نام برد. طبیعی است که کلیه تحت‌گروه‌های بزرگ دارای خاک سدیمی نیز می‌باشند. به‌علاوه گروه‌های بزرگ دیگری نیز هستند که در بعضی از تحت گروه‌های آن‌ها افق ناتریک دیده می‌شود. از این خاک‌ها می‌توان

1- Salidic Calciustolls
2- Salidic Haplustolls
3- Natric Duriaquolls
4- Lessivage
5- Salidic Natrustalfs
6- Natrudalfs
7- Natraqualfs
8- Natrustalfs
9- Natrxeralfs

ناتریک ورم‌اکوالفز[۱]، ناتریک‌دوری‌زرالفز[۲]، ناتریک پال زرالفز[۳] و ناتریک هاپلوزرالفز[۴] را را نام برد که همگی خاک‌های سدیمی می‌باشند.

- رده خاک‌های اینسپتی‌سولز :

این رده خاک‌ها به‌طور نسبی تکامل یافته می‌باشند و به‌طورمعمول در مناطقی مانند ایران دارای افق‌های کمبیک، کلسیک[۵] ، پتروکلسیک، ژیپسیک و سالیک می‌باشند، خاک‌هایی که دارای درصد سدیم تبادلی (ESP) بیشتر از ۷ و یا نسبت جذب سدیم (SAR) بیشتر از ۶ بوده با پیشوند سدیک[۶] مشخص می‌شوند که از آن جمله می‌توان سدیک‌ورم‌اکوپتز[۷] و سدیک‌کلسی‌زرپتز[۸] و خاک‌هایی که دارای افق سالیک هستند از جمله سالیدیک‌سولفاکوپتز[۹] را نام برد.

- رده خاک‌های انتی‌سولز :

در این خاک‌های معدنی ویژگی‌های هیچ یک از افق های مشخصه به‌جز افق سطحی اکریک دیده نمی‌شود. بنابراین خاک‌هایی به‌طورعمده جوان بوده و فاقد تکامل و یا با تکامل خیلی کم می‌باشند. این رده خاک‌ها در هر شرایط آب و هوایی و با هر نوع پوشش گیاهی امکان موجودیت دارند. عدم تکامل خاک‌ها به‌طوراحتمالی به‌دلیل جوان بودن و یا مقاومت مواد مادری به فرایند هوادیدگی و یا استقرار در شیب های تند و با درجه فرسایش پذیری زیاد می‌باشد که فرصتی برای فرآیندهای خاکسازی را در آن‌ها فراهم نیاورده است.

1- Natric Vermaqulfs
2- Natric Durixeralfs
3- Natric Palexeralfs
4- Natric Haploxeralfs
5- Calcic
6- Sodic
7- Sodic Vermaquepts
8- Sodic Calixerepts
9- Salidic Sulfaquepts

در بخشی از این خاک‌ها به‌خصوص خاک‌های مناطق خشک‌تر، احتمال شوری زیاد وجود دارد لیکن هنوز شرایط لازم برای تشکیل افق سالیک در آن فراهم نشده است. بنابراین گرچه در رده‌بندی این خاک‌ها به عامل شوری اشاره نمی‌گردد لیکن دلیلی بر عدم حضور نمک‌های محلول‌تر از گچ (ژیپس) در افق‌های این خاک‌ها نمی‌تواند باشد. از طرفی عامل سدیمی بودن در تحت‌گروه بعضی از خاک‌های این رده منظور می‌گردد و در شرایطی نیز آثاری از افق های ناتریک، در خاک‌های به‌هم خورده بر جای مانده که در رده بندی خاک-ها منظور می‌گردد. در مورد اخیر می‌توان به خاک‌های سدیک‌زرارنتز[۱] و سدیک‌توری‌ارنتز[۲] ارنتز[۲] اشاره نمود. از خاک‌های دیگر این رده که سدیمی نیز می‌باشند به خاک‌های سدیک‌هیدرواکوپتز[۳] و سدیک اندواکونتز[۴] می‌توان اشاره نمود.

1- Sodic Xerarents
2- Sodic Torriarents
3- Sodic Hydraquents
4- Sodic Endoaquents

پیوست شماره چهار
رهنمودهایی برای انتخاب و کاربرد مواد اصلاح کننده شیمیایی
خاک‌های سدیمی، شور و سدیمی

به‌طور کلی اصلاح خاک‌های سدیمی، شور و سدیمی نیاز به کاربرد مواد اصلاح کننده (بهساز) دارد که در این رابطه کاربرد موادی مانند گچ، گوگرد و یا کلرور کلسیم برای جایگزینی یون سدیم معمول است. از جمله نکات مهم در این ارتباط آن است که مواد اصلاح کننده باید قبل از عملیات آبشوئی به خاک اضافه شوند (در روش کاربرد مستقیم مواد اصلاح کننده خاک). میزان ماده اصلاحی مورد نیاز[1] را می‌توان از رابطه زیر محاسبه نمود.

$$AR = \left(\frac{ESP_{in} - ESP_{fn}}{۱۰۰} \right).CEC \qquad (۱)$$

که در آن :

ظرفیت تبادل کاتیونی[2] ، بر حسب میلی‌اکی‌والنت در یک‌صد گرم خاک خشک،

ESP_{in} و ESP_{fn} ، به ترتیب مقادیر درصد سدیم تبادلی اولیه (قبل از عملیات اصلاحی) و نهایی (مورد انتظار یا بعد از اجرای عملیات اصلاحی) و

AR ، میزان ماده اصلاحی مورد نیاز بر حسب میلی‌اکی‌والنت در یک‌صد گرم خاک خشک است.

تعیین ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) نمونه خاک به‌طورمعمول از طریق اشباع نمودن همتافت تبادلی خاک با نوعی کاتیون (مانند سدیم) و سپس جایگزینی این کاتیون و اندازه‌گیری میزان جایگزین شده در عصاره آب خاک به انجام می‌رسد [در واکنش (pH)

1- Amendment Requirement (AR)
2- Cation Exchange Capacity (CEC)

هفت از نظر استاندارد]. به‌عنوان مثال هرگاه ESP_{in} = ۳۰ ، ESP_{fn}=۱۰ و CEC=۲۴ باشد، مقدار AR = ۴/۸ میلی‌اکی‌والنت ماده اصلاح کننده در یک‌صد گرم خاک خشک محاسبه می‌شود.

هرگاه ماده اصلاحی مورد نظر گچ (ژیپس) باشد (یک میلی‌اکی‌والنت گچ در یکصد گرم خاک خشک برابر با ۸۶۰ قسمت در میلیون است)، گچ موردنیاز برای یک هکتار زمین و برای عمق اصلاحی ۲۰ سانتی‌متر (به وزن تقریبی $۳/۱ \times ۱۰^{۶}$ کیلوگرم) برابر با ۱۲۷۹۶ کیلوگرم خواهد بود. محاسبات گفته شده بر مبنای ۱۰۰ درصد جایگزینی کلسیم با سدیم است. به‌دلیل وجود مقادیر آزادی سودا[1] در برخی خاک‌های شور و سدیمی، راندمان حقیقی کاربرد ماده یا مواد اصلاحی کمتر است. بدین‌دلیل توصیه می‌گردد که میزان گچ (ژیپس) محاسبه شده با لحاظ نمودن مقادیر معادل کربنات و بی‌کربنات سدیم آزاد در خاک افزایش داده شود. علاوه بر آن درجه خلوص گچ قابل دسترسی نیز باید مورد امعان‌نظر بوده و در محاسبات میزان کاربردی لحاظ گردد.

به‌منظور انجام عملیات اصلاح زمین‌ها، گچ (ژیپس) را می‌توان توسط آب آبیاری نیز به کار برد که این روش در مقایسه با توزیع و اختلاط گچ با خاک لایه سطحی و یا کاربرد سایر انواع مواد اصلاح کننده ارزان‌تر است. لیکن در این روش میزان گچ مورد نیاز و مصرف زیادتر و فرایند اصلاح خاک آهسته‌تر می‌باشد. گوگرد نیز ماده اصلاحی ارزان قیمتی است که موارد کاربرد از آن عمومیت زیادی دارد. لیکن مصرف آن نیز با محدودیت‌هائی به همراه است. زیرا باکتری‌های خاک باید ابتدا ضمن اکسید نمودن (اکسایش) گوگرد آن را به اسید سولفوریک تبدیل نماید. سپس یون هیدروژن اسید ذکرشده باید با آهک خاک واکنش نموده و کلسیم آن را آزاد نماید تا با سدیم جذب سطحی شده جایگزین گردد و فقط در آن صورت است که سدیم مهیای آبشوئی می‌باشد که کل این فرایندها ممکن است ماه‌هایی از سال به‌طول بیانجامد. جدول (پ-۴-۱) انواع مواد اصلاح‌کننده شیمیائی خاکها را نشان می‌دهد.

1- Soda

جدول (پ-۴-۱)- خصوصیات شیمیائی انواع مواد اصلاح‌کننده

ردیف	نام ماده اصلاح‌کننده خاک	فرمول شیمیائی	حالت فیزیکی	مقدار معادل یک کیلوگرم شیمیائی خالص	
				گچ (ژیپس) کیلوگرم	گوگرد عنصری کیلوگرم
۱	گچ (ژیپس)	$CaSO_4 , 2 H_2O$	معدنی سفیدرنگ	۱/۰۰	۵/۳۸
۲	گوگرد عنصری	S_8	ماده زردرنگ	۰/۱۹	۱/۰۰
۳	اسید سولفوریک	H_2SO_4	مایع خورنده	۰/۵۷	۳/۰۶
۴	کربنات کلسیم	$CaCO_3$	ماده معدنی سفیدرنگ	۰/۵۸	۳/۱۳
۵	کلرور کلسیم	$CaCl_2 , 2 H_2O$	نمک سفیدرنگ	۰/۸۵	۴/۵۹
۶	سولفات فرو	$FeSO_4 , 7 H_2O$	نمک آبی متمایل به سبز	۱/۶۱	۸/۶۹
۷	سولفات فریک	$Fe_2 (SO_4)_3 , 9 H_2O$	نمک زرد متمایل به قهوه‌ای	۱/۰۹	۵/۸۵
۸	سولفات آلومینیوم	$Al_2 (SO_4)_3 , 18 H_2O$	دانه‌ای و خورنده	۱/۲۹	۶/۹۴
۹	پیریت (۳۰٪ گوگرد)	$Fe S_2$	ماده معدنی زرد تیره	۰/۶۳	۳/۳۹
۱۰	پلی سولفور کلسیم	CaS_x	جامد (و یا پودر)	۰/۷۷	۴/۱۴
۱۱	سولفور آهک	۲۴٪ گوگرد عنصری و ۹٪ کلسیم	محلول زرد مایل به قهوه‌ای	۰/۷۸	۴/۲۰
۱۲	نیترات کلسیم کریستاله	$Ca(NO3)_2 . 2H_2O$	جامد	۱/۱۶	۶/۲۴

۱- مواد اصلاح‌کننده مندرج در ردیف‌های ۲، ٤، ۹ و ۱۰ را باید به سطح خاک مزرعه اضافه (توزیع و اختلاط با خاک افق سطحی) نمود، سایر مواد اصلاح‌کننده را می‌توان به آب (آبیاری) و یا سطح خاک مزرعه اضافه نمود.

تعیین نوع و مقدار مواد اصلاح‌کننده خاک‌های سدیمی، شور و سدیمی

اصلاح و بهسازی خاک‌های سدیمی، شور و سدیمی مشتمل بر خارج نمودن نمک‌های اضافی (مازاد) و به خصوص دفع سدیم تبادلی تا میزان مجاز و مطلوب می باشد. آبشوئی و زدودن سدیم تبادلی خاک از طریق کاربرد مواد اصلاح کننده شیمیائی خاک‌ها مقدور است. زیرا مواد اصلاح‌کننده موجب کاهش واکنش (pH) خاک می‌گردند که در نتیجه آن سدیم تبادلی توسط جایگزینی با کاتیون کلسیم، کاهش خواهد یافت. به‌همین‌صورت مقادیر کربنات سدیم آزاد در محلول خاک نیز پس از انجام فعل و انفعالات (واکنش‌ها) شیمیائی از محیط (منطقه توسعه ریشه گیاه) خارج خواهد شد. میزان واکنش (pH) و مقدار کربنات‌های قلیائی خاکی موجود در آن رهنمودی مطلوب و مناسب برای انتخاب نوع ماده اصلاح کننده شیمیائی خاک‌ها می‌باشند. علاوه بر آن سطح (درجه) اصلاحی مورد نظر در خاک‌ها و ملاحظات اقتصادی در خصوص تهیه و کاربرد نیز از جمله عواملی می‌باشند که در انتخاب نوع ماده اصلاحی باید مورد امعان‌نظر قرار گیرند. به‌طورکلی مواد شیمیائی اصلاح‌کننده خاکهای مبتلا به مشکل سدیمی بودن را می‌توان در سه گروه دسته‌بندی نمود.

گروه اول: نمک‌های محلول کلسیم از قبیل کلرور کلسیم و گچ (ژیپس)،

گروه دوم: اسیدها یا مواد مولد اسید، شامل گوگرد، اسیدسولفوریک (غلیظ)، سولفات-آهن، سولفات آلومینیوم و سولفورآهک و

گروه سوم: نمک‌های کلسیم کم‌محلول (که ممکن است منیزیم نیز داشته باشند) از قبیل سنگ‌آهک خرد شده (آسیاب شده) و آهک به‌عنوان فرآورده جانبی کارخانه‌های قندسازی.

هم چنین خاک‌های سدیمی را نیز می توان در سه تیپ مختلف و در ارتباط با عکس العمل آن‌ها نسبت به کاربرد مواد اصلاح‌کننده به شرح زیر طبقه‌بندی نمود.

خاک‌های تیپ اول: محتوی کربنات‌های قلیائی خاکی،

خاک‌های تیپ دوم: که میزان واکنش (pH) آن‌ها از ۷/۵ بیشتر لیکن فاقد کربنات-های قلیایی خاکی می‌باشند و

خاک‌های تیپ سوم: که میزان واکنش (pH) آن‌ها از ۷/۵ کمتر همچنین فاقد کربنات‌های قلیایی خاکی هستند.

هرگونه ترکیبات کلسیم، اسید و یا مواد مولد اسید را می‌توان در خصوص خاک‌های تیپ اول به کار برد لیکن مصرف سنگ آهک در شرایط این خاک‌ها از نظر اصلاحی بدون اثر است.

کاربرد اسید و یا مواد مولد اسید در خاک‌های تیپ دوم و سوم می‌تواند موجب اسیدی شدن واکنش (pH) این قبیل خاک‌ها گردد. هر گاه مقادیر لازم اسید یا مواد مولد اسید برای اصلاح خاک‌ها به کار گرفته و موجب اسیدی شدن شدید واکنش (pH) خاک‌ها گردد در این شرایط انتخاب نوع ماده اصلاح‌کننده منحصر به نمک‌های محلول کلسیم می‌گردد مگر آن‌که به همراه آن سنگ آهک نیز به کار برده شود.

پودر سنگ آهک (آسیاب شده) و یا نمکهای کم محلول کلسیم تنها در مورد خاک‌های سدیمی فرسوده یا تخریب شده که میزان واکنش (pH) آن‌ها کم است می‌تواند کاربرد

داشته باشد. ویژگی‌های شیمیائی انواع مواد اصلاح‌کننده خاک‌ها پیش‌تر در جدول (پ-۴-۱) ارائه شده است.

در ایران خاک‌های سدیمی تخریب یافته‌ای که به‌طورکلی فاقد ملح کربنات کلسیم باشد به ندرت یافت می‌شود. بنابراین در چنین شرایطی هرگاه تمهیدات لازم برای افزایش میزان حلالیت کربنات کلسیم به انجام رسد، نیازی به کاربرد مواد اصلاح‌کننده نمی‌باشد. مهمترین راه‌کار عملی برای کاهش واکنش (pH) خاک و افزایش مستمر (مداوم) غلظت اکسید دو کربن یا گاز کربنیک (CO_2) در خاک فرایندهای متراکم میکروبیولوژیکی از طریق تجزیه و تخریب مواد آلی می‌باشد که به صورت کود سبز به سطح خاک مزرعه افزوده گردیده و با عملیات خاک‌ورزی (شخم) با خاک لایه سطحی اختلاط داده شود. در این شرایط کاربرد مقادیر کمی گچ (ژیپس) و یا سایر مواد مولد اسید و انجام اقداماتی برای نگه‌داری آب باران در ایام بارندگی بر روی سطح زمین‌های مبتلابه می‌تواند فرایند اصلاح طبیعی[1] این قبیل خاک‌ها را تسریع نماید.

کمیت مواد اصلاح‌کننده موردنیاز برای خاک‌های مبتلا به مشکل سدیمی بودن، بستگی به میزان سدیم تبادلی خاک، عمق اصلاحی موردنظر و راندمان (بازده) کاربرد مواد اصلاح‌کننده خاک و زمین دارد. برای دست‌یابی به این مهم به‌طور مقدماتی لازم است که میزان گچ (ژیپس) موردنیاز اصلاح خاک را محاسبه نمود. برای تعیین یا محاسبه میزان گچ مورد نیاز[2] برای جایگزینی با سدیم تبادلی و برای حصول به میزان سدیمی بودن موردنظر (مطلوب) در واحد سطح اراضی (هکتار)، می‌توان از رابطه زیر استفاده نمود.

$$GR = ۸/۶ \times Dz \times Pb \times CEC. \left(\frac{ESP_{in} - ESP_{fn}}{۱۰۰} \right) \qquad (۲)$$

1- Natural Reclamation
2- Gypsum Requirement (GR)

که در آن:

GR، میزان گچ مورد نیاز بر حسب تن (متریک) در هکتار،

Pb، جرم مخصوص ظاهری خاک بر حسب تن (متریک) در مترمکعب،

Dz، ضخامت لایه خاک که اصلاح آن مورد نظر است بر حسب متر،

CEC، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک بر حسب میلی‌اکی‌والنت در یک‌صد گرم خاک خشک و ESP_{in} و ESP_{fn} ، به ترتیب درصد سدیم تبادلی اولیه و نهائی (موردنظر) می‌باشند.

به دلایل زیر در عمل به مقادیر بیش‌تری گچ نسبت به میزان محاسبه شده از طریق روابط بیان شده نیاز خواهد بود.

- عدم امکان کاربرد و پخش یکنواخت گچ در مزرعه،
- جایگزینی مقادیری از سولفات کلسیم به جای سایر کاتیون‌ها (غیر از سدیم)،
- آبشوئی مقادیری از گچ کاربردی از لایه‌های سطحی و تراکم آن در لایه‌های زیرین و
- وجود مقادیری سدیم و کربنات سدیم آزاد در خاک که میزان آن در روابط گفته شده لحاظ نمی‌باشد.

همچنین لازم به ذکر است که آن میزان یون‌های کلسیمی که از ذرات خاک، حین فرایند آبشوئی و تبادل کاتیونی وارد عمل می گردند نیز در محاسبات گفته شده منظور نشده است.

در جدول زیر مقادیر مواد اصلاح‌کننده لازم برای اعماق مختلف نیمرخ خاک برای جایگزینی با میزان مشخصی سدیم تبادلی، ارائه شده است.

جدول (پ-۴-۲) مقادیر مواد اصلاح‌کننده (گچ ، گوگرد و اسید سولفوریک) لازم برای اعماق متفاوت نیمرخ خاک به‌منظور جایگزینی با مقادیر مشخصی سدیم تبادلی، برحسب تن در هکتار

میزان سدیم تبادلی (میلی‌اکی‌والنت در۱۰۰ گرم خاک خشک)	**گچ (ژیپس)**		گوگرد عنصری		**اسید سولفوریک غلیظ**	
	۰ – ۱۵ (سانتی‌متری)	**۰ – ۳۰ (سانتی‌متری)**	**۰ – ۱۵ (سانتی‌متری)**	**۰ – ۳۰ (سانتی‌متری)**	**۰ – ۱۵ (سانتی‌متری)**	**۰ – ۳۰ (سانتی‌متری)**
۱	۲/۰۹	۴/۱۸	۰/۴۰	۰/۸۰	۱/۱۹	۲/۳۸
۲	۴/۱۸	۸/۳۶	۰/۷۹	۱/۵۹	۲/۳۸	۴/۷۶
۳	۶/۲۷	۱۲/۵۴	۱/۱۹	۲/۳۸	۳/۵۷	۷/۱۵
۴	۸/۳۶	۱۶/۷۲	۱/۵۹	۳/۱۸	۴/۷۶	۹/۵۳
۵	۱۰/۴۵	۲۰/۸۹	۱/۹۸	۳/۹۷	۵/۹۶	۱۱/۹۱
۶	۱۲/۵۴	۲۵/۰۷	۲/۳۸	۴/۷۶	۷/۱۵	۱۴/۲۹
۷	۱۴/۶۳	۲۹/۲۵	۲/۷۸	۵/۵۶	۸/۳۴	۱۶/۶۸
۸	۱۶/۷۲	۳۳/۴۳	۳/۱۸	۶/۳۶	۹/۵۳	۱۹/۰۶
۹	۱۸/۸۱	۳۷/۶۱	۳/۵۷	۷/۱۵	۱۰/۷۲	۲۱/۴۴
۱۰	۲۰/۸۹	۴۱/۷۹	۳/۹۷	۷/۹۴	۱۱/۹۱	۲۳/۸۱

- ارقام محاسبه شده در متن جدول برحسب ۰/۰۱ اعشاری گرد شده‌اند.
- میزان جرم مخصوص ظاهری خاک برابر ۱/۵ تن (متریک) در متر مکعب منظور شده است.
- وزن خاک یک هکتار زمین به ضخامت‌های ۰/۱۵ و ۰/۳ متر به ترتیب برابـر بـا ۱۰۶ × ۲/۲۵ و ۱۰۶× ۴/۵ کیلوگرم منظور گردیده است

پیوست شماره پنج
برخی موارد لازم به توجه در مورد کاربرد آب‌های با کیفیت بینابینی در عملیات آبیاری

مسائل مدیریتی

شوری	نفوذپذیری	مسمومیت	موارد متفرقه
- آبشویی - زهکشی - انتخاب گیاهان مقاوم و مناسب - کاربرد آب آبیاری - عملیات زراعی	- کاربرد مواد اصلاح کننده خاک - کاربرد آب آبیاری - عملیات خاک ورزی - مصرف موادآلی و بقایای گیاهی	- آبشویی - انتخاب گیاهان مناسب و مقاوم - عملیات زراعی - کاربرد آب آبیاری	- واکنش (pH) غیرعادی - ایجاد سخت‌لایه - خطرات نیتروژن اضافی

پیش‌نیازهای حصول موفقیت در آبیاری با کاربرد آب‌های با کیفیت بینابینی[1] در عملیات آبیاری

برای دست‌یابی به موفقیت در عملیات آبیاری توسط کاربرد آب‌های با کیفیت بینابینی در سطح مزرعه، شرایط اصولی زیر باید فراهم باشد:

۱- میزان آب موردنیاز باید به‌کار برده شود،

۲- آب کاربردی باید دارای کیفیت قابل قبولی باشد،

۳- برنامه‌ریزی کاربرد و مصرف آب آبیاری گیاهان (زراعی و باغی) لازم است با دقت تنظیم گردد،

۴- روش آبیاری مناسب و مطلوب باید اعمال و اجرا گردد،

۵- به‌وسیله کاربرد «نیاز آبشویی» از تجمع و تراکم نمک‌های محلول در محدوده توسعه ریشه گیاه (هان) جلوگیری به‌عمل آید،

1- Marginal

۶- با استفاده از نوعی سامانه زه‌کشی (روباز یا زیرزمینی)، سطح ایستابی مزرعه مدیریت و کنترل شود،

۷- مواد غذایی مورد نیاز گیاه (هان)، باید در سطحی « مطلوب » حفظ و نگه‌داری گردد.

پیوست شماره شش
پتانسیل عملکرد گیاه برنج در شرایط شوری منابع فیزیکی تولید (خاک و آب)

برای زراعت برنج در خاک‌های رسوبی، میزان شوری (هدایت الکتریکی، EC) در محلول خاک و یا در عصاره اشباع خاک (EC_e) اندازه‌گیری می‌گردد. برای زراعت برنج در زمین‌های مرتفع[1] این عامل باید در مقادیر ظرفیت زراعی (FC) و یا کمتر از آن اندازه‌گیری شود، زیرا هدایت الکتریکی (EC) در محلول خاک به‌طور تقریبی دو برابر بیش‌تر از عصاره اشباع خاک می‌باشد. یک رابطه تقریبی برای برآورد کاهش عملکرد محصول در اثر خسارت ناشی از شوری را می‌توان به‌شرح زیر ارائه نمود:

$$Y = ۱۰۰ - [۱۲(EC_e - ۳/۰)] \qquad (۱)$$

که در آن :

Y = عملکرد نسبی محصول برحسب درصد و

EC_e = هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک برحسب دسی‌زیمنس‌برمتر (dS/m) .

اندازه‌گیری هدایت الکتریکی (EC) به‌عنوان شاخص شوری، اقدامی سریع و ساده است، لیکن مقدار (میزان) این عامل به تنهایی، به‌هرحال برای ارزیابی اثرات شوری روی رشد گیاه برنج به‌دلیل آن‌که غلظت نمک‌ها در سطح ریشه (گیاه) می‌تواند به مراتب بیش‌تر از توده خاک باشد، کافی نیست. علاوه بر آن هدایت الکتریکی (EC) فقط بیانگر میزان (محتوی) مجموع نمک‌های محلول است و معرف اجزاء (ترکیبات) آن نمی‌باشد. یون‌های سدیم (Na^+) و بُر (B^+) نیز در این مورد باید مورد توجه باشند. مقدار شوری می‌تواند به مقدار قابل ملاحظه‌ای در مزرعه، در بین دو فصل (زراعی و غیرزراعی) و حتی در محدوده یک مزرعه مشخص متفاوت باشد. میزان هدایت الکتریکی (EC) به تنهایی در موارد تفسیر باید با دقت مورد بررسی قرار گیرد مگر آن‌که این ارقام معرف نمونه‌های خاک برداشت شده از سطح قطعه زراعی آن‌هم به‌صورت علمی و منطقی باشند.

---

1 - Upland

جدول (پ-۶-۱)- عملکرد نسبی محصول برنج (شالی) به‌ازاء مقادیر متفاوت هدایت الکتریکی محلول خاک، دسی‌زیمنس‌برمتر [محاسبه شده با کاربرد رابطه (۱)]

ردیف	هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (دسی‌زیمنس‌برمتر)	عملکرد نسبی محصول برنج (درصد)	ردیف	هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (دسی‌زیمنس‌برمتر)	عملکرد نسبی محصول برنج (درصد)
۱	۳/۰	۱۰۰/۰	۶	۸/۰	۴۰/۰
۲	۴/۰	۸۸/۰	۷	۹/۰	۲۸/۰
۳	۵/۰	۷۶/۰	۸	۱۰/۰	۱۶/۰
۴	۶/۰	۶۴/۰	۹	۱۱/۰	۴/۰
۵	۷/۰	۵۲/۰	۱۰	۲۳/۰	*

* حداکثر هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک که به‌دلیل جذب آب توسط ریشه‌ها به‌وجود می‌آید و در این میزان "شوری" رشد گیاه متوقف می‌گردد.

رشد و نمو گیاه در خاک‌های شور به‌طور عمده متأثر از میزان زیاد نمک‌های محلول ($Na\ Cl$) است که موجب مسمومیت، عدم توازن یونی و به‌هم خوردن بیلان آبی در گیاه می‌گردد. در خاک‌های سدیمی، رشد گیاه به‌طور عمده متاثر از میزان واکنش (pH) زیاد و قابل ملاحظه بودن غلظت آنیون بی‌کربنات (HCO_3^-) می‌باشد.

دلایل قابل ذکر موجد شرایط شوری و سدیمی شدن خاک‌های شالی‌زاری را می‌توان به‌شرح زیر خلاصه نمود:

- نامناسب بودن عملیات آبیاری و یا عدم کفایت آب آبیاری کاربردی در فصل یا سال زراعی در شرایطی که میزان بارندگی کم باشد.
- تبخیر زیاد، در مناطق غیرساحلی که به‌طور معمول میزان تبخیر به‌مراتب بیشتر از بارندگی (فصلی یا سالیانه) است، گرایش به شوری خاک‌ها در اکثر شرایط با قلیائیت خاک‌ها مرتبط است.
- خیز قابل ملاحظه سطح آب زیرزمینی با کیفیت غیرشور و یا با شوری‌های متفاوت.
- تداخل آب شور دریا با آب‌های زیرزمینی غیرشور[1] ، در مناطق ساحلی، مانند دلتای

1- Intrusion

رودخانه‌ها و زمین‌های ساحلی.

خاک‌های متأثر از مشکل شوری از نظر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بسیار متفاوت می‌باشند، لیکن به‌هرحال مشکل شوری همواره با بروز علایم کمبود عناصر فسفر (P) و روی (Zn) به‌همراه است، این در شرایطی است که به‌طور معمول در خاک‌های شور "اسید سولفاته"، موارد مسمومیت عنصر آهن (Fe) نیز قابل ذکر می‌باشد.

مشکل شوری خاک‌ها را می‌توان فقط به‌وسیله عملیات آب‌شویی از راه کاربرد آب‌های مناسب و قابل دسترسی مرتفع نمود. به‌دلیل آن‌که گیاه برنج دارای ریشه‌های کم عمق (اَفشان) می‌باشد، بنابراین لایه سطحی خاک (۲۰-۰ سانتی‌متری) نیاز به آب‌شویی نمک-های محلول دارد. میزان مؤثر بودن عملیات آبشوئی مرتبط با متغیرهایی نظیر: مخارج اصلاحی، موجودیت آب مناسب و قابل مصرف، ویژگی‌های فیزیکی و هیدرولیکی خاک و زمین‌ها است. برای کاهش سطح شوری خاک‌های مبتلابه، هدایت الکتریکی آب آبیاری (EC_w) باید کمتر از ۰/۵ دسی‌زیمنس‌برمتر باشد. در شرایطی که از آب‌های با کیفیت بسیار مناسب بدین‌منظور (آب‌شوئی) استفاده به‌عمل می‌آید، میزان آب مورد نیاز برای کاهش مقدار مشخصی هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (EC_e) تا میزان مطلوب و مورد نظر (EC_c) را می‌توان از رابطه زیر برآورد نمود:

$$A_{iw} = A_{sat}[(EC_e / EC_c) + ۱] \qquad (۲)$$

که در آن :

A_{iw}، معرف میزان آب آبیاری مورد نیاز که باید در فرایند آبشویی به‌کار گرفته شود (میلی‌متر) و

A_{sat}، بیانگر مقدار آب خاک در شرایط اشباع می‌باشد (میلی‌متر).

مقادیر آب لازم برای کاهش میزان شوری‌های اولیه عصاره اشباع خاک در جدول زیر ارائه شده است.

جدول (پ-۶-۲)- مقادیر آب لازم (A_{iw}، میلی‌متر) برای کاهش میزان شوری‌های اولیه عصاره اشباع خاک (ECe) به مقدار موردنظر (ECe=۴/۰dS/m) در لایه‌های مربوطه

ردیف	شوری اولیه عصاره اشباع خاک ECe(dS/m)	$[(EC_e / EC_c)+1]$	A_{sat} (میلی‌متر)					
			ضخامت لایه خاک ۱۰ سانتی‌متر			ضخامت لایه خاک ۲۰ سانتی‌متر		
			۵۰	۴۵	۴۰	۱۰۰	۹۰	۸۰
۱	۸	۳	۱۵۰	۱۳۵	۱۲۰	۳۰۰	۲۷۰	۲۴۰
۲	۱۲	۴	۲۰۰	۱۸۰	۱۶۰	۴۰۰	۳۶۰	۳۲۰
۳	۱۶	۵	۲۵۰	۲۲۵	۲۰۰	۵۰۰	۴۵۰	۴۰۰
۴	۲۰	۶	۳۰۰	۲۷۰	۲۴۰	۶۰۰	۵۴۰	۴۸۰
۵	۲۴	۷	۳۵۰	۳۱۵	۲۸۰	۷۰۰	۶۳۰	۵۶۰
۶	۲۸	۸	۴۰۰	۳۶۰	۳۲۰	۸۰۰	۷۲۰	۶۴۰
۷	۳۲	۹	۴۵۰	۴۰۵	۳۶۰	۹۰۰	۸۱۰	۷۲۰

کاربرد گچ یا ژیپس($CaSO_4$) برای تعدیل یا کاهش میزان سدیم (Na) که خاک از آن اشباع شده است (ESP و نسبت Na:K) برای اصلاح این نوع خاک‌ها ضرورت کامل دارد. به‌دلیل اثرات توامان فیزیکی و شیمیایی پیچیده در توده خاک، تعیین قطعی میزان گچ (ژیپس) مورد نیاز اصلاح و بهسازی خاک‌های سدیمی کار مشکلی است. مقدار کلسیم (Ca) موجود در گچ مورد نیاز برای کاهش درصد سدیم تبادلی (ESP) خاک تا حد مطلوب و موردنظر را می‌توان از رابطه زیر برآورد نمود:

$$Ca=(ESP_o - ESP_d)\times CEC\times B\times D\times ۲۰/۰ \qquad (۳)$$

که در آن :

Ca ، میزان کلسیم لازم که از طریق کاربرد گچ یا ژیپس تأمین می‌گردد، (کیلوگرم در هکتار) ،

ESP_0 ، مقدار درصد سدیم تبادلی اولیه خاک،

ESPd = میزان درصد سدیم تبادلی مطلوب و موردنظر خاک(به‌عنوان درصدی از CEC)،

CEC = ظرفیت کاتیون‌های تبادلی خاک ($Cmol\ c.kg^{-۱}$)،

B = جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌مترمکعب) و

D = ضخامت لایه خاک که اصلاح آن موردنظر است (متر).

مقادیر مواد شیمیایی مختلف اصلاح‌کننده خاک‌های شورسدیمی و سدیمی مناسب خاک‌های شالی‌زاری در جدول زیر نشان داده شده است.

جدول (پ-۶-۳)- مقادیر مواد اصلاح کننده (گچ، گوگرد و اسیدسولفوریک) لازم برای اعماق متفاوت نیمرخ خاک برای جایگزینی با میزان مشخصی سدیم تبادلی، (تن در هکتار)

ردیف	میزان سدیم تبادلی (میلی‌اکی‌والنت در یک صدگرم خاک خشک)	گچ (ژیپس)		گوگرد عنصری		اسید سولفوریک	
		ضخامت لایه خاک (سانتی‌متر)		ضخامت لایه خاک (سانتی‌متر)		ضخامت لایه خاک (سانتی‌متر)	
		۰-۱۰	۰-۲۰	۰-۱۰	۰-۲۰	۰-۱۰	۰-۲۰
۱	۱	۱/۳۹	۲/۷۸	۰/۲۷	۰/۵۴	۰/۷۹	۱/۵۷
۲	۲	۲/۷۸	۵/۵۶	۰/۵۴	۱/۰۸	۱/۵۸	۳/۱۶
۳	۳	۴/۱۷	۸/۳۴	۰/۸۱	۱/۶۲	۲/۳۷	۴/۷۴
۴	۴	۵/۵۶	۱۱/۱۲	۱/۰۸	۲/۱۶	۳/۱۶	۶/۳۲
۵	۵	۶/۹۵	۱۳/۹۱	۱/۳۵	۲/۷۱	۳/۹۵	۷/۹۰
۶	۶	۸/۳۴	۱۶/۶۸	۱/۶۲	۳/۲۴	۴/۷۴	۹/۴۸
۷	۷	۹/۷۳	۱۹/۴۶	۱/۸۹	۳/۷۸	۵/۵۳	۱۱/۰۶
۸	۸	۱۱/۱۲	۲۲/۲۴	۲/۱۶	۴/۳۲	۶/۳۲	۱۲/۶۴
۹	۹	۱۲/۵۱	۲۵/۰۲	۲/۴۳	۴/۸۶	۷/۱۱	۱۴/۲۲
۱۰	۱۰	۱۳/۹۱	۲۷/۸۲	۲/۷۱	۵/۴۰	۷/۹۰	۱۵/۸۰

۱- میزان جرم مخصوص ظاهری خاک برابر ۱/۵ تن (متریک) در مترمکعب منظور شده است.
۲- وزن خاک یک هکتار زمین به ضخامت‌های ۰/۱ و ۰/۲ متر به ترتیب برابر با $۱/۵\times۱۰^{۶}$ و $۳/۰\times۱۰^{۶}$ کیلوگرم منظور شده است.

- اصلاح کیفیت آب آبیاری

به‌طوری‌که بارها در متن این مجموعه به آن اشاره شد. وفور آنیون بی‌کربنات (HCO_3^-) در آب‌های کاربردی برای اهداف آبیاری، می‌تواند موجب افزایش واکنش(pH) محلول خاک گردیده و فرآیند "قلیائیت" را تسهیل نماید. اندیس یا نمایه برآورد خطرات متأثر از این عامل به‌وسیله "کربنات سدیم باقیمانده[1] (RSC)" که به‌شرح زیر است بیان می‌گردد:

$$RSC = [(HCO_3^- + CO_3^{2-}) - (Mg^{2+} + Ca^{2+})] \quad (۴)$$

که در آن :

RSC= کربنات سدیم باقیمانده برحسب میلی‌اکی‌والنت‌درلیتر و

Ca^{2+} ، Mg^{2+} ، CO_3^{2-} و HCO_3^- = به ترتیب کاتیون‌های (کلسیم و منیزیم) و آنیون-های (کربنات و بی‌کربنات) محلول برحسب میلی‌اکی‌والنت‌درلیتر می‌باشند.

نکته: مقادیر " کربنات سدیم باقیمانده " در آب آبیاری ۲/۵< ، ۱/۲۵–۲/۵ و ۱/۲۵> میلی‌اکی‌والنت در لیتربوده و به ترتیب غیرمناسب، بنیابینی (متوسط) و مناسب توصیف شده‌اند.

با توجه به اهداف این مبحث در زیر به تشریح یک مثال در خصوص کاربرد مواد اصلاح کننده (بهساز) اقدام می‌گردد.

مثال (۱)

میزان آنیون بی‌کربنات (HCO_3^-)نمونه‌ای از آب آبیاری برابر با ۴/۰ میلی‌اکی‌والنت‌درلیتر گزارش شده است. هرگاه در نظر باشد که مقدار این آنیون به ۱/۰ میلی‌اکی‌والنت‌درلیتر کاهش داده شود، چه مقدار اسید سولفوریک غلیظ و صنعتی باید به هر لیتر آب آبیاری اضافه شود.

حل:

از آن‌جایی که هر اکی‌والنت‌درلیتر اسیدسولفوریک (SO_4H_2)برابر با ۴۹ گرم بر لیتر [$(۹۸ \div ۲)/lit$] می‌باشد. بنابراین یک میلی‌اکی‌والنت‌درلیتر آن برابر با:

گرم بر ۱۰۰۰ سانتیمترمکعب (یک لیتر) $۱\ meq/lit = \frac{۰/۰۴۹}{۱۰۰۰}$

[1] - Residual Sodium Carbonate

به‌همین ترتیب، سه میلی‌اکی‌والنت‌درلیتر آن مساوی با:

گرم بر ۱۰۰۰ سانتیمترمکعب (یک لیتر) $\frac{۰/۱۴۷}{۱۰۰۰} = ۳ \times \left(\frac{۰/۰۴۹}{۱۰۰۰}\right) = ۳ \text{ meq/lit}$

به‌دلیل آن‌که چگالی اسید سولفوریک غلیظ و صنعتی برابر با ۱/۸۴ گرم بر سانتی‌مترمکعب می‌باشد بنابراین:

سانتی‌مترمکعب بر لیتر (۱۰۰۰ سانتی‌مترمکعب) $= ۰/۰۸ = \frac{\text{(گرم بر ۱۰۰۰ سانتی‌مترمکعب) } ۰/۱۴۷}{\text{(گرم بر سانتی‌مترمکعب) } ۱/۸۴}$

باید متذکر گردد که محاسبات گفته شده برمبنای اسید سولفوریک غلیظ و صنعتی با درجه خلوص ۱۰۰ درصد به انجام رسیده و در شرایطی که اسید سولفوریک درجه خلوص کمتری داشته باشد، مورد اخیر باید در محاسبات مربوطه اعمال گردد.

پیوست شماره هفت
مثال عملی از کاربرد مدل‌های تجربی آبشویی نمک‌ها در خاک‌های شور

مثال

قطعه زمینی با کیفیت شیمیایی شور و سدیمی در بخشی از زمین‌های جنوب شرقی استان خوزستان انتخاب شد، از چهار نقطه و در سه مرحله، نمونه‌های خاک تهیه و برای انجام آزمایش‌های لازم به آزمایشگاه ارسال شد. نتایج تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک قطعه انتخابی، در جدول‌های پ-۷-۱ و پ-۷-۲ ارائه شده است. براساس رده‌بندی جامع وزارت کشاورزی کشور ایالات متحده (USDA)، خاک منطقه مورد مطالعه لومی‌رسی تا رسی سیلتی و از نظر رده‌بندی تیپیک هاپلوسالید بوده است.

آب به‌کار رفته در این تحقیق، از رودخانه زهره تأمین شد، نتایج تجزیه شیمیایی آب مورد استفاده در جدول پ-۷-۳ ارائه شده است و کیفیت آن برای مصارف کشاورزی بینابینی قابل طبقه‌بندی است. عمق آب به‌کار رفته (آبشویی) در این بررسی، ۱۰۰ سانتی‌متر بوده که در چهار تناوب ۰/۲۵ متری به‌کار رفته است.

برای انجام این آزمون، کرت‌های مدل با چهار عدد ورق آهنی پیش‌ساخته، ایجاد شد که پس از نصب و کوبیده شدن در خاک، قطعه (کرت) آزمایشی یک مترمربعی را به‌وجود آورد. در مجموع شش کرت مدل بدین‌ترتیب ایجاد شد، شایان ذکر است که عمق کوبیده شدن اضلاع جانبی هر کرت مدل در نیمرخ خاک ۲۰ سانتی‌متر بوده است. اطراف هر کرت مدل با پشته‌های خاکی و مستحکم طوری محصور می‌شد که کرتی به ابعاد ۲×۲ مترمربعی، کرت مدل را احاطه کند. از این کرت به‌عنوان حوضچه محافظ ، در دوره اجرای آزمایش استفاده می‌شود، همان‌گونه که گفته شد روش آبشویی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک در این مطالعه، غرقاب متناوب بوده است. طی دوره نفوذ هر تناوب آب (آبشویی) به سطح خاک کرت‌های مدل، همچنین در فاصله زمانی بین دو تناوب آب به‌کار رفته (۳ تا ۴ روز به‌عنوان زمان توزیع مجدد رطوبت)، سطح کرت‌های مدل به‌دلیل جلوگیری از تبخیر با ورقه‌های نایلونی، پوشیده می‌گردید.

جدول (پ-۷-۱)- ویژگی‌های شیمیایی نمونه‌های خاک قبل از آبشویی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک

اعماق نمونه‌برداری خاک، سانتی‌متر	هدایت‌الکتریکی عصاره اشباع خاک (دسی‌زیمنس‌برمتر) (EC_e)	واکنش خاک (pH)	کربنات کلسیم ٪	گچ (سولفات کلسیم آبدار) ٪	سدیم تبادلی میلی‌اکی‌والنت بر یکصدگرم خاک خشک	ظرفیت کاتیون‌های تبادلی، میلی‌اکی‌والنت بر یکصد گرم خاک خشک	درصد سدیم تبادلی (ESP)*
۲۵-۰	۴۶/۵۰	۷/۱۰	۳۲/۰۰	۰/۵۴	۵/۰۱	۱۹/۹۰	۲۵/۱۸
۵۰-۲۵	۳۶/۶۰	۶/۹۵	۳۲/۰۰	۰/۵۹	۶/۲۵	۱۳/۷۰	۴۵/۶۲
۷۵-۵۰	۳۸/۲۰	۷/۱۰	۳۳/۰۰	۰/۶۴	۵/۲۱	۱۱/۷۱	۴۴/۴۹
۱۰۰-۷۵	۳۶/۸۰	۷/۲۰	۳۴/۰۰	۰/۴۲	۶/۰۱	۱۶/۴۳	۳۶/۵۸

* ESP= Ex.Na+.100/CEC

جدول (پ-۷-۲)- ویژگی‌های فیزیکی نمونه‌های خاک موردآزمون آبشویی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک

اعماق نمونه‌برداری خاک سانتی‌متر	جرم مخصوص حقیقی خاک گرم بر سانتی‌متر مکعب	جرم مخصوص ظاهری خاک گرم بر سانتی‌متر مکعب	کل نمونه خاک٪ تخلخل	نفوذپذیری		میزان رطوبت خاک (درصد وزنی) *		
				میلی‌متر بر ساعت	توصیف	قبل از آبشویی	حین آبشویی	پس از توزیع مجدد
۲۵-۰	۲/۴۲	۱/۴۰	۴۲/۱۰	۱۰/۵	متوسط	۵/۸۰	۳۳/۰۰	۲۰/۹۳
۵۰-۲۵	۲/۴۴	۱/۵۲	۳۷/۷۰	۱۶/۶	متوسط	۷/۱۰	۳۲/۰۰	۱۸/۶۵
۷۵-۵۰	۲/۴۸	۱/۴۸	۴۰/۳۲	۱۰/۵	متوسط	۷/۵۰	۳۰/۰۰	۱۷/۰۰
۱۰۰-۷۵	۲/۴۸	۱/۴۸	۴۰/۳۲	۱۰/۵	متوسط	۱۲/۲۰	۳۰/۰۰	۱۷/۰۰

* میزان کسر رطوبت تجمعی لایه‌های خاک قبل از کاربرد اولین دور آب آبشویی به ترتیب ۵/۲۹، ۹/۶۸، ۱۳/۱۴ و ۱۴/۹۷ سانتی‌متر بوده است.

جدول (پ-۷-۳)- نتایج تجزیه شیمیایی آب به‌کاررفته در آزمون آبشویی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک

هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس-برمتر) (EC_w)	واکنش خاک (pH)	سدیم، میلی اکی والنت‌بر-لیتر (Na^+)	کلسیم + منیزیم، میلی‌اکی‌والنت‌برلیتر ($Ca^{2+} + Mg^{2+}$)	نسبت جذب سدیم (SAR)	طبقه‌بندی* براساس دیاگرام ویلکاکس
۱/۳۲	۷/۴۰	۴/۷۰	۶/۸۴	۲/۵۴	C_3S_1

* براساس جدول راهنمای آزمایشگاه شوری خاک ایالات متحده امریکا، کتابچه شماره ۶۰ (۱۹۵۴)

SAR = برحسب میلی‌اکی‌والانت‌برلیتر به توان (۰/۵) است.

پس از نفوذ هر تناوب ۲۵ سانتی‌متری آب به سطح کرت‌های مدل و پس از گذشت مدت زمان لازم برای توزیع مجدد رطوبت در نیمرخ خاک که انجام نمونه‌برداری از خاک سطح کرت‌های مدل را تسریع و ممکن ساخته است، از اعماق مشابه (همانند اعماق ارائه شده در جدول‌های پ-۷-۱ و پ-۷-۲) در سه مرحله به‌طور تصادفی از سطح شش کرت مدل، نمونه‌برداری می‌شد. پس از برداشت نمونه‌های خاک، حفره ایجاد شده در سطح کرت‌های مدل و تا عمق مربوط در نیمرخ خاک با لوله پی‌وی‌سی هم‌قطر مته نمونه‌برداری از خاک اشغال و بخش میانی لوله‌های تعبیه شده با خاک خشک و هم‌جوار پر و به وسیله پیستونی کوبیده می‌شد تا از نشت و فرار آب از درون لوله‌ها جلوگیری شود. در هر دوره به کارگیری آب آبشویی به کرت‌های محافظ نیز مقادیر لازم آب اضافه و سعی در هم سطح نگه‌داشتن عمق آب در کرتهای مدل (میانی) و کرت‌های محافظ (بیرونی) به‌عمل می‌آمد. انجام این امر به منظور ایجاد اطمینان از نفوذ عمودی آب در کرت‌های مدل بوده است.

در مراحل افزایش اولین و آخرین میزان تناوب آب به‌کار رفته (۲۵ سانتی‌متر اول و ۲۵ سانتی‌متر نهایی)، افت سطح ایستابی از محل کرت‌های مدل (میانی) اندازه‌گیری و محاسبات لازم، برای سرعت نفوذ پایه (اولیه و نهایی) انجام شد تا بدین‌ترتیب بتوان در مورد اثر آبشویی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک‌ها و در ارتباط با تغییرات سرعت نفوذ پایه زمین‌ها را بررسی و قضاوت کرد.

در همه نمونه‌های خاک تهیه‌شده در آزمایشگاه عواملی مانند: هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک، واکنش (pH)، سدیم تبادلی ($Ex.Na^{+}$)و ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) اندازه‌گیری شده و بر مبنای رقم‌های سدیم تبادلی و ظرفیت تبادل کاتیونی نمونه‌های خاک، درصد سدیم تبادلی محاسبه شده است.

تذکر: در این مثال موارد مرتبط با شوری‌زدایی خاک[1] مورد تجزیه و تحلیل و مقایسه قرار می‌گیرد، موارد سدیم‌زدایی خاک[2] از نظر روش تجزیه، تحلیل و نتیجه‌گیری مشابه شوری‌زدایی می‌باشد که به‌دلیل مختصرنویسی به این مورد اکتفا شده است.

جدول پ–۷–۴ مقادیر شوری اولیه (EC_i) و نهایی (EC_f) عصاره اشباع خاک را قبل از استفاده از آب آبشویی و پس از استفاده از مقادیر متفاوت آب (تناوب‌های آب آبشویی) را در اعماق مختلف نمونه‌برداری‌شده، نشان می‌دهد.

حل:

ابتدا ضروری است رقم‌های شوری خاک (هدایت الکتریکی عصاره اشباع) مربوط به قبل، حین و پس از آبشویی که تهیه و در جدول پ–۷–۴ ارائه شده، برای افق‌های متفاوت و موردنظر در نیمرخ خاک یعنی ۰ تا ۲۵ ، ۰ تا ۵۰ ، ۰ تا ۷۵ و ۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متری مورد توجه قرار گیرد و میانگین وزنی لایه‌های گفته‌شده، محاسبه گردد که نتایج حاصل در جدول پ–۷–۵ ارائه شده است.

توجه: در مورد رقم‌های مندرج در جدول پ–۷–۵ به دلیل اینکه اعماق نمونه‌برداری خاک در جدول پ–۷–۴ دارای تناوب یا تواترهای یکسانی بوده است (۲۵ سانتی‌متری) بدین-دلیل رقم‌های محاسبه‌شده میانگین وزنی و میانگین حسابی آن برابر می‌باشد. در شرایطی که ضخامت لایه‌های نمونه‌برداری از نیمرخ خاک برابر نباشند، استفاده از رقم‌های میانگین وزنی علمی و منطقی‌تر است.

به‌دلیل آسانی محاسبات و کاربردی که در پی می‌آید، پیشنهاد می‌گردد، رقم‌های مندرج در جدول پ–۷–۵ از راه تعویض سطرها و ستون‌ها به‌صورت جدول پ–۷–۶ تهیه و ارائه شود.

1- Desalinization
2- Desodification

الف) محاسبه ضریب بازده یا بازده آبشویی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک مورد آزمون

با توجه بر آن‌چه در متن این مجموعه بیان شد، نظر به‌این‌که در این آزمایش میزان شوری نهایی (EC_f) مربوط به لایه ۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متری نیمرخ خاک (مندرج در جدول پ–۴–۵)، به‌ازای کاربرد ۱۰۰ سانتی‌متر عمق آب آبشویی (D_w، سانتی‌متر) برابر ۵/۰۸ دسی‌زیمنس‌برمتر (dS/m) مشخص شده است و ملاحظه رقم‌های مندرج در جدول پ–۷–۲ که میزان کسر رطوبت لایه ۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متری نیمرخ خاک را قبل از آبشویی برابر ۱۴/۹۷ سانتی‌متر ارائه نموده است، و توجه به مندرجات جدول پ–۷–۳ که میزان شوری آب کاربردی آبشویی را ۱/۳۲ دسی‌زیمنس‌برمتر گزارش کرده است، ابتدا با استفاده از رابطه (۴–۲۹) مقدار ضریب مربوطه به‌شرح زیر محاسبه شده است.

$$R = \frac{D_w}{D_p} = \frac{۱۰۰}{۸۵/۰۳} = ۱/۱۷۶ \qquad \text{(۴–۲۹) مکرر}$$

در رابطه بالا، D_w عمق ناخالص آب کاربردی (آبشویی) و D_P عمق خالص آب آبشویی که پس از تأمین کسر رطوبت لایه مربوطه به‌صورت تراوش‌های عمقی از نیمرخ خاک خارج می‌گردد (مترادف با D_{lw} یا عمق خالص آب کاربردی یا آبشویی نمک می‌باشد).
سپس با استفاده از رابطه (۴–۲۹) مقدار ضریب بازده یا بازده آبشویی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک، به‌صورت زیر برآورد می‌شود:

$$EC_{eq} = \frac{R.EC_w}{f} \rightarrow f = \frac{R.EC_w}{EC_{eq}} = \frac{۱/۱۷۶ \times ۱/۳۲}{۵/۰۸} = ۰/۳۰ \qquad \text{(۴–۲۸) مکرر}$$

رقم حاصله با بافت خاک‌های مورد آزمون، همخوانی داشته و موید صحت اجرای آزمایش می‌باشد.

ب) رابطه عمق آب آبشویی کاربردی (D_w) و تغییرات میزان شوری خاک (EC_e) مورد آزمون

با استفاده از رقم‌ها و اعداد مندرج در جدول پ-۷-۶ اقدام شد که نتایج در جدول پ-۷-۷ ارائه شده است. بررسی رقم‌های جدول ذکر شده، بیانگر آن است که استفاده از ۱۰۰ سانتی‌متر آب مصرفی موجب آبشویی ۹۳/۷۰، ۹۰/۰۵، ۸۰/۵۵ و ۶۴/۲۵ درصد میزان نمک اولیه اعماق مربوطه (به‌طور میانگین) شده است. مقدار آب استفاده شده مذکور معادل با ۹/۵، ۵/۳، ۳/۳ و ۲/۵ واحد حجم آب منفذی برای اعماق گفته شده می‌باشد.

تذکر: برای آگاهی بیشتر از چگونگی محاسبه واحدهای حجم (آب یا رطوبت) منفذی به زیر نویس صفحه ۷ متن مجموعه مراجعه شود.

جدول پ-۷-۴- مقادیر شوری اولیه (EC_i) و نهایی (EC_f) عصاره اشباع خاک، قبل از به‌کارگیری آب آبشویی و پس از به‌کارگیری مقادیر متفاوت آب آبشویی (ناخالص یا D_w) در اعماق مختلف نمونه‌برداری‌شده

ردیف	اعماق نمونه‌برداری از خاک (سانتی‌متر)	هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک قبل از آبشویی EC_i (دسی‌زیمنس برمتر)	هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک پس از به‌کارگیری تناوب‌های مختلف آب کاربردی				
			Dw=۲۵Cm	Dw=۵۰Cm	Dw=۷۵Cm	Dw=۱۰۰Cm	میانگین EC_f (دسی‌زیمنس بر-متر)
			EC_f (۲۵)	EC_f (۵۰)	EC_f (۷۵)	EC_f (۱۰۰)	
۱	۲۵-۰	۴۶/۵۰	۳/۸۳	۲/۹۳	۲/۶۲	۲/۳۱	۲/۹۲
۲	۵۰-۲۵	۳۶/۵۰	۱۰/۶۸	۴/۸۲	۳/۰۶	۲/۸۳	۵/۳۵
۳	۷۵-۵۰	۳۸/۲۰	۳۷/۵۳	۱۳/۴۷	۶/۹۷	۳/۳۰	۱۵/۳۲
۴	۱۰۰-۷۵	۳۶/۴۰	۴۶/۵۰	۴۲/۷۰	۲۹/۸۰	۱۱/۹۰	۳۲/۷۲
میانگین		۳۹/۴۲	۲۴/۶۳	۱۵/۹۸	۱۰/۶۱	۵/۰۸	۱۴/۰۷

* رقم‌های (EC_f) متن جدول برحسب دسی‌زیمنس‌برمتر می‌باشند.

جدول پ-۷-۵- مقادیر محاسبه‌شده (میانگین وزنی) شوری اولیه (EC_i) و نهایی (EC_f) عصاره اشباع خاک، قبل از استفاده از آب آبشویی و پس از کاربرد مقادیر متفاوت آب آبشویی (ناخالص یا D_w) در اعماق مختلف نیمرخ خاک

ردیف	اعماق مختلف نیمرخ خاک (سانتی‌متر)	هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک قبل از آبشویی EC_i (دسی‌زیمنس برمتر)	هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک پس از کاربرد تناوب‌های مختلف آب آبیاری				
			Dw=۲۵Cm	Dw=۵۰Cm	Dw=۷۵Cm	Dw=۱۰۰Cm	میانگین EC_f (دسی‌زیمنس بر متر)
			EC_f (۲۵)	EC_f (۵۰)	EC_f (۷۵)	EC_f (۱۰۰)	
۱	۲۵-۰	۴۶/۵۰	۳/۸۳	۲/۹۳	۲/۶۲	۲/۳۱	۲/۹۲
۲	۵۰-۰	۴۱/۵۵	۷/۲۵	۳/۸۷	۲/۸۴	۲/۵۷	۴/۱۳
۳	۷۵-۰	۴۰/۴۳	۱۷/۳۵	۷/۰۷	۴/۲۲	۲/۸۱	۷/۸۶
۴	۱۰۰-۰	۳۹/۴۲	۲۴/۶۳	۱۵/۹۸	۱۰/۶۱	۵/۰۸	۱۴/۰۷

۲- رقم‌های (EC_f) متن جدول برحسب دسی‌زیمنس‌برمتر می‌باشند.

۲- اعماق مختلف نیمرخ خاک در واقع لایه‌های تجمعی اعماق نمونه‌برداری‌شده از سطح خاک است.

همچنین مندرجات جدول پ-۷-۷ نشان می‌دهد که آبشویی نمک‌های محلول از نیمرخ خاکهای رسوبی، سنگین بافت، شور و سدیمی منطقه مورد مطالعه با روش غرقاب متناوب در کاهش نمک‌های محلول (شوری) به‌ویژه در لایه‌های سطحی نیمرخ خاک به‌دلیل تغییرات متناوب میزان رطوبت خاک مؤثر بوده است. به‌گونه‌ای‌که کاربرد ۱۰۰ سانتی‌متر آب آبشویی (ناخالص یا D_w) که معادل با ۰/۸۵ متر تراوش‌های عمقی (D_P یا D_{lw} ، آب خالص آبشویی) می‌باشد، باعث کاهش ۹۰/۰۵ و ۶۴/۲۵ درصد شوری اولیه افقهای ۰/۵ و ۱ متری نیمرخ خاک شده که میزان آب نفوذ یافته به ترتیب معادل با ۴/۲۶ و ۲/۱۳ واحد حجم (آب) منفذی بوده است. به‌طور متوسط موجب آبشویی ۸۲/۱۴ درصد مقدار شوری اولیه نیمرخ خاک تا عمق ۱ متری شده است، به‌گونه‌ای‌که لایه سطح خاک تا عمق ۷۵/۰ سانتی‌متری پس از اتمام آبشویی از نظر کیفی بدون محدودیت شوری و در افق ۰/۷۵ تا ۱ متری دارای شوری

کمی بوده که در شرایط استفاده از عمق آب آبشویی بیشتر، این محدودیت نیز قابل رفع می‌باشد.

نتیجه این‌که، در مقایسه با دیگر مطالعات انجام‌شده در استان خوزستان، با روش غرقاب دائم و با شرایط مشابه می‌توان اظهار کرد که چگونگی و شیوه کاهش نمک‌های محلول، یکسان است لیکن از نظر دوره زمانی اجرای آزمایش، روش غرقاب متناوب در مقایسه با روش غرقاب دائم بیشتر به‌طول می‌انجامد.

پ) شوری‌زدایی خاک مورد آزمایش

همان‌گونه که گفته شد در جدول پ-۷-۶ تغییرات میزان شوری (هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک) لایه‌های مختلف خاک به ازاء مقادیر متفاوت عمق آب به‌کاررفته (آب آبشویی ناخالص یا D_w) ارائه شده است. در عمل ممکن است مقداری از آب آبشویی صرف رفع یا جبران کمبود رطوبت خاک اعماق مربوط شده و در فرایند آبشویی مؤثر نباشد. همچنین کاهش میزان شوری با به‌کارگیری آب آبشویی و به میزان زیاد حتی در لایه‌های سطحی نیمرخ خاک منجر به حصول تعادل شیمیایی کامل با آب آبیاری و یا آبشویی در کوتاه‌مدت نخواهد شد. بدین معنی که کمترین میزان شوری که به حال تعادل شیمیایی کامل با آب کاربردی (با کیفیت مشخص) در می‌آید، به‌جز در خاک‌های سبک با شرایط زهکشی بسیار مناسب، در دیگر موارد از شوری آب آبیاری، کمی بیشتر است (در این مطالعه ۱/۳۲ برابر شوری آب آبیاری حاصل شده است[1]) اثر این عامل نیز در جدول‌های بیان‌شده (جداول پ-۷-۶ و پ-۷-۷) در نظر گرفته نشده است.

به‌منظور رفع این مورد، بر پایه رقم‌های هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک و برای اعماق مربوط به آن، با استفاده از اعداد ارائه‌شده در جدول پ-۷-۶ همین‌طور بهره‌مندی از رقم‌های تجزیه فیزیکی نمونه‌های خاک لایه‌های مربوط (به زیرنویس جدول پ-۷-۲ توجه شود) لازم است جدولی مربوط به رقم‌های مورد نیاز به‌شرح زیر تهیه شود:

$$X = [Dl_w / D_s] \quad \text{و} \quad Y = [(EC_f - EC_{eq}) / (EC_i - EC_{eq})]$$

1- EC_{eq} / EC_w = ۱/۳۲

جدول پ-۷-۶- مقادیر میانگین وزنی (محاسبه‌شده) شوری اولیه (EC_i) و نهایی (EC_f) عصاره اشباع خاک، قبل از کاربرد آب آبشویی و پس از کاربرد مقادیر متفاوت آب آبشویی (ناخالص) در اعماق مختلف نیمرخ خاک

ردیف	عمق آب آبشویی کاربردی D_w (سانتی‌متر)	اعماق مختلف نیمرخ خاک D_s (سانتی‌متر)			
		۲۵-۰	۵۰-۰	۷۵-۰	۱۰۰-۰
۱	۰ (قبل از آبشویی)	۴۶/۵۰	۴۱/۵۵	۴۰/۴۳	۳۹/۴۲
۲	۲۵	۳/۸۳	۷/۲۵	۱۷/۳۵	۲۴/۶۳
۳	۵۰	۲/۹۳	۳/۸۷	۷/۰۷	۱۵/۹۸
۴	۷۵	۲/۶۲	۲/۸۴	۴/۲۲	۱۰/۶۸
۵	۱۰۰	۲/۳۱	۲/۵۷	۲/۸۱	۵/۰۸
میانگین شوری خاک، پس از آبشویی (EC_f)		۲/۹۲	۴/۱۳	۷/۸۶	۱۴/۰۷

* رقم‌های (EC_f , EC_i) متن جدول برحسب دسی‌زیمنس‌برمتر می‌باشد.

** اعماق مختلف نیمرخ خاک در واقع لایه‌های تجمعی اعماق نمونه‌برداری‌شده از سطح خاک است.

جدول پ-۷-۷- رابطه بین مقادیر مختلف عمق آب آبشویی کاربردی و تغییرات میزان شوری عصاره اشباع خاک (EC_e)

ردیف	عمق آب آبشویی کاربردی D_w (سانتی‌متر)	مقدار نمک ٪	اعماق مختلف نیمرخ خاک D_s (سانتی‌متر)				میانگین EC_e
			۲۵-۰	۵۰-۰	۷۵-۰	۱۰۰-۰	
۱	۲۵	باقیمانده (۱)	۸/۲۴	۱۷/۴۷	۴۲/۹۱	۶۲/۴۸	۳۲/۷۷
		شسته‌شده (۲)	۹۱/۷۶	۸۲/۵۵	۵۷/۰۹	۳۷/۵۲	۶۷/۲۳
۲	۵۰	باقیمانده	۶/۳۰	۹/۳۱	۱۷/۴۹	۴۰/۵۴	۱۸/۴۱
		شسته شده	۹۳/۷۰	۹۰/۶۹	۸۲/۵۱	۵۹/۴۶	۸۱/۵۹
۳	۷۵	باقیمانده	۵/۶۹	۶/۸۶	۱۰/۴۶	۲۷/۰۹	۱۲/۵۲
		شسته شده	۹۴/۳۱	۹۳/۱۴	۸۹/۵۴	۷۲/۹۱	۸۷/۴۸
۴	۱۰۰	باقیمانده	۴/۹۶	۶/۱۸	۶/۹۵	۱۲/۸۹	۷/۷۴
		شسته شده	۹۳/۰۴	۹۳/۸۲	۹۳/۰۵	۸۷/۱۱	۹۲/۲۶
میانگین		باقیمانده	۶/۳۰	۹/۹۵	۱۹/۴۵	۳۵/۷۵	۱۷/۸۶
		شسته شده	۹۳/۷۰	۹۰/۰۵	۸۰/۵۵	۶۴/۲۵	۸۲/۱۴

(۱) نمک‌های اولیه باقیمانده (٪) $\%Y=(EC_f / EC_i)\times 100$

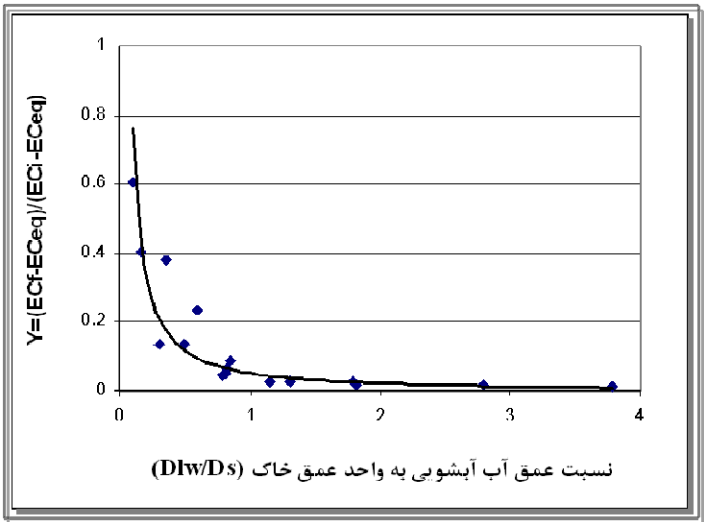
(۲) نمک‌های اولیه شسته شده (٪) $\%Y'=100-\%Y[=(EC_f / EC_i)\times 100]$

که در آن: EC_i و EC_f به ترتیب هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک قبل و بعد از استفاده از عمق آب آبشویی مربوط (خالص یا D_{lw}) برحسب دسی‌زیمنس‌برمتر و EC_{eq} هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک که به حال تعادل شیمیایی با آب آبیاری و یا آبشویی در می‌آید، برحسب دسی‌زیمنس‌بر متر و $[Dl_w / D_s]$ نسبت عمق آب آبشویی به واحد عمق خاک، که در آن D_{lw} عمق خالص آب آبشویی و آن میزان آبی است که پس از تأمین کسر رطوبت خاک طبقه مربوط به صورت ثقلی و تراوش‌های عمقی از ستون خاک لایه مربوط خارج می‌شود و برحسب متر یا سانتی‌متر، D_s عمق یا ضخامت لایه خاک (نسبت به سطح زمین) برحسب متر یا سانتی‌متر می‌باشد.

همان‌گونه‌که در متن این مجموعه نیز بیان شد، کاهش مقدار EC_{eq} (شوری تعادلی) از صورت و مخرج کسر گفته شده (Y) و مربوط، موجب خواهد شد تا نتایج حاصل از عوامل خارجی مؤثر از جمله میزان تبخیر، شرایط زهکشی داخلی خاک، کیفیت آب آبیاری مورد استفاده در امر آبشویی و دیگر شرایطی که بر روی نتایج تأثیرگذار است، مستقل باشد.

بر مبنای موارد گفته‌شده، به‌منظور تهیه رقم‌های آبشویی (شوری‌زدایی) برای لایه‌های متفاوت نیمرخ خاک، محاسبات مربوط به آن انجام شد که نتایج در جدول پ–۷–۸ ارائه شده است. براساس رقم‌های مندرج در این جدول می‌توان نسبت به تهیه منحنی شوری‌زدایی خاک مورد آزمایش اقدام کرد. به‌دلیل این‌که در رسم منحنی شوری‌زدایی خاک، از رقم‌های محاسبه‌شده (میانگین وزنی) استفاده می‌شود و بنابراین رسم منحنی-های مربوط به هر عمق، به‌دلیل عدم تفاوت زیاد در چنین شرایطی مرسوم نیست. باید یادآور شد که این منحنی در محدوده نوع خاک، میزان شوری اولیه نیمرخ خاک محل اجرای آزمون می‌تواند کاربرد داشته باشد. با استفاده از این منحنی، می‌توان عمق آب مورد نیاز برای کاهش عملی میزان شوری خاک و برای عمق معینی از لایه خاک را برآورد (محاسبه) کرد. مقادیر استخراجی از منحنی گفته‌شده، براساس نیاز خالص آب آبشویی نمک است و به‌منظور برآورد کل میزان آب لازم برای آبشویی خاک، باید به مقادیر کسر رطوبت خاک لایه مورد نظر (تا حد ظرفیت مزرعه)، تبخیر (از سطح آب و خاک) و میزان بارندگی نیز توجه کرد و این عوامل فراگیر را در محاسبات برنامه‌ریزی آبشویی و اصلاح خاک و زمین لحاظ داشت. شایان ذکر است که در این آزمون مقدار شوری تعادلی

(EC_{eq}) برابر با ۱/۷۴ دسی‌زیمنس‌برمتر در لایه ۰ تا ۵ سانتی‌متری نیمرخ خاک پس از عملیات آبشویی در نظر گرفته شده است.



شکل پ-۷-۱- منحنی شوری‌زدایی خاک‌های مورد آزمون در زمین‌های جنوب شرقی استان خوزستان

ت) تحلیل آماری و ارائه مدل مناسب

رقم‌های مندرج در جدول پ-۷-۸ با استفاده از نرم‌افزار SPSS ویرایش 16.0، مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت و ۱۱ مدل به رقم‌های حاصل از اجرای آزمون برازش داده شد که خلاصه نتایج حاصل در جدول پ-۷-۹ ارائه شده است.

به‌گونه‌ای‌که از این جدول می‌توان پی برد، مدل توانی[1] با داشتن بزرگ‌ترین ضریب تبیین (R^2) وخطای استاندارد (S.E) برابر ۰/۴۱۳ در سطح ۱ درصد معنی‌دار است و پس از آن رابطه درجه سوم، معکوس، لگاریتمی، درجه دوم و چهار مدل یا رابطه (مرکب، لجستیک، رشد و نمایی) نیز هم‌مرتبه می‌باشند و در نهایت مدلهای اس و خطی قرار دارند. بدین‌ترتیب رابطه برتر زیر را می‌توان ارائه داد:

$$Y = ۰/۰۵۳\ X^{-۱/۱۵۴} \qquad (۱)$$

1- Power

جدول پ-۷-۸- اعداد شوری‌زدایی خاک محل مورد آزمون

ردیف	اعماق مختلف نیمرخ خاک سانتی‌متر	عمق خالص آب آبشویی و نسبت‌های مربوط به آن (Y , X)				
۱	۰ تا ۲۵	D_{lw} (cm)	۱۹/۷۱	۴۴/۷۱	۶۹/۷۱	۹۴/۷۱
		D_{lw} / D_s	۰/۷۹	۱/۷۹	۲/۷۹	۳/۷۹
		$\frac{EC_f - EC_{eq}}{EC_i - EC_{eq}}$	۰/۰۴۷	۰/۰۲۶	۰/۰۲۰	۰/۰۱۳
۲	۵۰-۰	D_{lw} (cm)	۱۵/۳۲	۴۰/۳۲	۶۵/۳۲	۹۰/۳۲
		D_{lw} / D_s	۰/۳۱	۰/۸۱	۱/۳۱	۱/۸۱
		$\frac{EC_f - EC_{eq}}{EC_i - EC_{eq}}$	۰/۱۳۸	۰/۰۵۳	۰/۰۲۸	۰/۰۲۱
۳	۷۵-۰	D_{lw} (cm)	۱۱/۸۱	۳۶/۸۱	۶۱/۸۱	۸۶/۸۱
		D_{lw} / D_s	۰/۱۶	۰/۴۹	۰/۸۲	۱/۱۶
		$\frac{EC_f - EC_{eq}}{EC_i - EC_{eq}}$	۰/۴۰۳	۰/۱۳۸	۰/۰۶۴	۰/۰۲۸
۴	۱۰۰-۰	D_{lw} (cm)	۱۰/۰۳	۳۵/۰۳	۶۰/۰۳	۸۵/۰۳
		D_{lw} / D_s	۰/۱۰	۰/۳۵	۰/۶۰	۰/۸۵
		$\frac{EC_f - EC_{eq}}{EC_i - EC_{eq}}$	۰/۶۰۷	۰/۳۷۸	۰/۲۳۶	۰/۰۸۹

با جایگزینی متغیرهای مربوطه به جای Y و X رابطه به‌صورت زیر در می‌آید:

$$\left(\frac{EC_f - EC_{eq}}{EC_i - EC_{eq}}\right) = ۰/۰۵۳ \left(\frac{D_{lw}}{D_s}\right)^{-۱/۱۵۴} \quad (۲)$$

که آن را به‌صورت‌های زیر نیز می‌توان ارائه داد :

$$\frac{D_{lw}}{D_s} = \left[۰/۰۵۳ \times \left(\frac{EC_i - EC_{eq}}{EC_f - EC_{eq}}\right)\right]^{۰/۸۶۶} = ۰/۰۷۸۵ \times \left(\frac{EC_i - EC_{eq}}{EC_f - EC_{eq}}\right)^{۰/۸۶۶} \quad (۳)$$

$$D_{lw} = D_s \left[۰/۰۷۸۵ \left(\frac{EC_i - EC_{eq}}{EC_f - EC_{eq}}\right)^{۰/۸۶۶}\right] \quad (۴)$$

تذکر: خلاصه نتایج ارائه‌شده در جدول پ-۷-۹، به‌دلیل توانمندی‌های نرم‌افزار SPSS بوده است، به‌گونه‌ای‌که توصیه گردیده، روابط ریاضی مطلوب در مورد آزمون‌های آبشویی نمک خاک‌های شور به‌طور عمده شامل: توابع هذلولی (معکوس)، توانی، لگاریتمی (یا نیمه لگاریتمی) و نمایی است که به‌دلیل سهولت‌های کاربردی قابلیت تبدیل به رابطه‌های خطی را دارا هستند. بدیهی است پیش‌نیاز رسم منحنی‌های مربوط و یا کاربرد نتایج، مستلزم تغییر شکل رابطه به‌صورت اصلی (اولیه) است. ضمن آن‌که آماره‌های مدل‌های مرکب، لجستیک، رشد و نمایی در شرایطی یکسان هستند. کاربرد رابطه‌های درجه دوم و سوم در این مورد پیشنهاد نمی‌شوند.

ث) مقایسه نتایج با دیگر مدل‌های تجربی آبشویی نمک‌های خاک‌های شور

همان‌گونه که بیان شد، مدل‌های تجربی معرفی‌شده از نظر ریاضی به‌شرح زیر قابل رده‌بندی بوده است.

- مدل های تجربی با شکل رابطه ریاضی تابع هذلولی (هیپربولیک[1])

این گروه شامل مدل‌های تجربی ریو (۱۹۵۷)، لافلر و شارما (۱۹۷۷)، هافمن (۱۹۸۰)، پذیرا و کاواچی (۱۹۸۰)، است.

- مدل‌های تجربی با شکل رابطه ریاضی تابع توانی[2]

این دسته شامل مدل‌های تجربی ورما و گوپتا (۱۹۸۹)، پذیرا و کشاورز (۱۹۸۹) است.

- مدل‌های تجربی با شکل رابطه ریاضی تابع نمایی[3]

این گروه شامل مدل تجربی- نظری دیلمان (۱۹۶۳) است.

- مدل‌های تجربی با شکل رابطه ریاضی تابع نیمه‌لگاریتمی و لگاریتمی[4]

این دسته شامل مدل تجربی حاصل از این تحقیق (مدل مندرج در ردیف دو، جدول پ-۷-۹ است). با توجه به این‌که در این بررسی بهترین مدل برازش‌شده از نظر شکل ریاضی، تابع

1 - Inverse
2- Power
3- Exponential
4- Semi-Logarithmic and Logarithmic

توانی است، بنابراین براساس رقم‌ها و اعداد ارائه‌شده مندرج در جدول پ–۷–۸، مقایسه‌ای بین کاربرد آن (رابطه۱) و مدل تجربی– نظری دیلمان (۱۹۶۳) و مدل‌های لافلر و شارما (۱۹۷۷)، ورما و گوپتا (۱۹۸۹) و مدل نیمه لگاریتمی جدید به‌عمل آمد.

رقم‌های محاسبه شده از رابطه‌های: لافلر و شارما، ورما و گوپتا، دیلمان، مدل نیمه لگاریتمی جدید و مدل تابع توانی (رابطه ۱) که شکل ریاضی آنها به‌صورت زیر قابل ارائه است:

ـ مدل توانی جدید (رابطه ۱)
ـ مدل هذلولی (لافلر و شارما، ۱۹۷۷)
ـ مدل توانی (ورما و گوپتا، ۱۹۸۹)
ـ مدل نمایی (دیلمان، ۱۹۶۳)
ـ مدل نیمه لگاریتمی جدید

جدول پ–۷–۹– خلاصه نتایج تجزیه و تحلیل آماری و برازش مدل‌های مختلف به رقم‌های شوری‌زدایی مورد آزمون

ردیف	نام مدل		رابطه ریاضی مدل مربوطه	ضرایب ثابت				آماره‌های محاسبه‌شده مدل		
	فارسی	انگلیسی		a	b	c	d	ضریب تبیین	خطای استاندارد	سطح معنی‌دار بودن
۱	خطی	Linear	$Y=a+bX$	-۰/۱۰۵۰	۰/۲۶۰	-	-	۰/۳۶۲	۰/۱۹۵	۰/۰۱۳۷
۲	لگاریتمی	Logarithmic	$Y=a+b\ln X$	۰/۰۹۹۰	-۰/۱۵۵	-	-	۰/۷۶۰	۰/۰۸۸	۰/۰۰۰۰
۳	معکوس	Inverse	$Y=a+b/X$	۰/۰۰۷۶	۰/۰۶۳	-	-	۰/۸۶۰	۰/۰۶۷	۰/۰۰۰۰
۴	درجه دوم	Quadratic	$Y=a+bX+cX^2$	۰/۴۲۳	-۰/۴۲۲	۰/۰۸۷	-	۰/۶۷۸	۰/۱۰۶	۰/۰۰۰۵
۵	درجه سوم	Cubic	$Y=a+bX+cX^2+dX^3$	۰/۵۵۷	-۰/۸۹۴	۰/۴۳۵	-۰/۰۶۳	۰/۸۱۹	۰/۰۸۳	۰/۰۰۰۱
۶	توانی	Power	$Y=aX^b$	۰/۰۵۳	-۱/۱۵۴	-	-	۰/۸۸۹	۰/۴۱۴	۰/۰۰۰۰
۷	مرکب	Compound	$Y=ab^X$	۰/۲۱۹	۰/۳۷۳	-	-	۰/۶۷۴	۰/۷۱۱	۰/۰۰۰۱
۸	اس	S	$Y=e^{(a/X+b)}$	-۳/۴۲۱	۰/۳۷۳	-	-	۰/۶۴۲	۰/۷۴۵	۰/۰۰۰۳
۹	لجستیک	Logistic	$Y=1/(1/u+ab^X)$	۴/۵۴۶	۲/۶۷۸	-	-	۰/۶۷۴	۰/۷۱۱	۰/۰۰۰۱
۱۰	رشد	Growth	$Y=e^{a+bX}$	-۱/۵۱۴	-۰/۹۸۵	-	-	۰/۶۷۴	۰/۷۱۱	۰/۰۰۰۱
۱۱	نمایی	Exponential	$Y=ae^{bX}$	۰/۲۱۹	-۰/۹۸۵	-	-	۰/۶۷۴	۰/۷۱۱	۰/۰۰۰۱

* برای آگاهی بیشتر از چگونگی محاسبه آماره‌های مدل به راهنمای کاربرد نرم افزار SPSS ، ویرایش ۱۶ /۰ مراجعه شود.
** مقدار (u) در مدل لجستیک کران (حد) بالا و عدد مثبتی است که باید از بزرگ‌ترین رقم متغییر وابسته، زیادتر باشد.

با رقم‌های مشاهده شده و مندرج در جدول پ-۷-۹، با محاسبه مجموع مربعات انحرافات و با داشتن درجه آزادی یکسان (DF)، ضمن محاسبه واریانس یا پراش و خطای استاندارد، مشخص شد که به‌ترتیب مدل‌های لافلرو شارما ، مدل توانی جدید، مدل نیمه‌لگاریتمی جدید و مدل نمایی دیلمان به رقم‌های مشاهده شده نزدیک‌تر می‌باشند. نتایج برازش‌شده در مدل توانی ورما و گوپتا با رقم‌های مورد نظر هم‌خوانی نداشته است. مقادیر آماره‌های مربوط به مدل‌های مورد آزمون، به‌شرح زیر است:

جدول پ-۷-۱۰- مقادیر آماره‌های محاسبه‌شده برای مدل‌های مورد مقایسه

آماره مورد بررسی	مدل توانی جدید	مدل هذلولی لافلر و شارما	مدل توانی ورما و گوپتا	مدل نمایی دیلمان	مدل نیمه لگاریتمی جدید
مجموع مربعات انحرافات	۰/۰۹۱۱۵	۰/۰۷۴۱۱	۱۲/۸۰۳۸	۱/۸۳۸۸	۰/۱۱۰۳۴
واریانس (پراش)	۰/۰۰۶۰۷	۰/۰۰۴۹۴	۰/۸۵۵۳۰	۰/۱۲۲۵۰	۰/۰۰۷۳۰
خطای استاندارد	۰/۰۷۷۹۰	۰/۰۷۰۳۰	۰/۹۲۳۸۰	۰/۳۵۰۱۰	۰/۰۸۵۷۰

برای تجزیه و تحلیل موارد ارائه‌شده، افزون بر آنچه گفته شد، در این مبحث به اعمال فرضیه‌های زیر می‌پردازیم:

- هرگاه هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک، قبل از آبشویی به‌طور میانگین، تا عمق ۱ متری نیمرخ خاک برابر با ۴۰ دسی زیمنس بر متر اندازه‌گیری شود و درنظر باشد که این مقدار به ۸ دسی‌زیمنس بر متر کاهش داده شود، در شرایطی که شوری تعادلی عصاره اشباع خاک حاصل از اجرای آزمون آبشویی نمک، برابر با ۱/۷۴ دسی‌زیمنس بر متر گزارش شده باشد و در صورتی که اعماق اصلاحی خاک مورد نظر به ترتیب ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ سانتی‌متر (از سطح خاک) منظور شود، مقدار آب مورد نیاز اصلاحی[1] چنین خاکی با کاربرد مدل‌های تجربی (آبشویی نمک) معرفی‌شده برای اعماق (لایه‌های خاک) مربوط چقدر خواهد بود و کاربرد کدام مدل یا مدل‌ها در این مورد پیشنهاد می‌شود؟

1-Reclamation Requirement (RR)

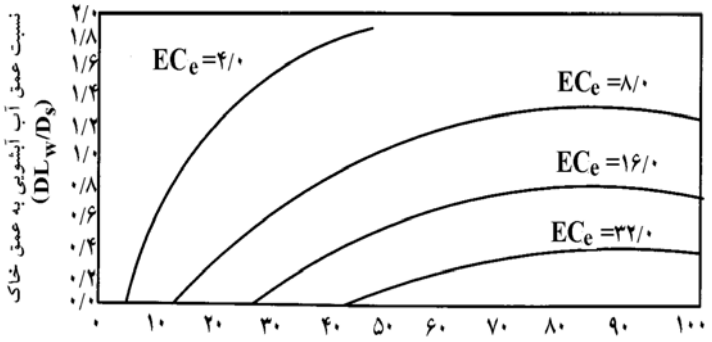
• با استفاده از هشت مدل تجربی معرفی‌شده در این خصوص اقدام که خلاصه نتایج در جدول زیر ارائه شده است. با دقت در رقم‌های مندرج در جدول پ–۷–۱۱ ملاحظه می‌شود به‌گونه‌ای‌که در مبحث (پ) بیان گردید، مدل توانی جدید با ویژگی‌های آماری مندرج در جدول پ–۷–۱۰ در رتبه اول تناسب مدل انتخابی کاربردی قرار دارد و پس از آن به ترتیب مدل‌های پذیرا و کشاورز (۱۹۹۸)، لافلر و شارما (۱۹۷۷)، پذیرا و کاواچی (۱۹۸۱) و مدل هافمن (۱۹۸۰) تناسب دارند و دیگر مدل‌های مورد استفاده و مقایسه یعنی روابط ورما و گوپتا (۱۹۸۹)، ریو (۱۹۵۷) و دیلمان (۱۹۶۳) تناسب لازم در خصوص برآورد آب مورد نیاز اصلاحی خاک‌های منطقه مورد مطالعه را به‌دلیل برآورد مقادیر آب لازمه به ترتیب ۱/۷۳، ۳/۸۲ و ۵/۰۱ برابر بیشتر (در مقایسه با کاربرد مدل توانی جدید) نشان نمی‌دهند.

شایان ذکر است که این چهار مدل، به عنوان مدل‌های با تناسب کاربردی زیادتر، مقادیر آب لازم اصلاحی خاک‌ها را به‌طور مقایسه‌ای (با مدل توانی جدید) به ترتیب ۱/۲۱، ۱/۳۴ و ۱/۶۹ برابر بیش‌تر برآورد می‌کنند که به‌هرحال به‌دلیل تجربی بودن این‌گونه مدل‌ها، نتایج حاصل از کاربرد آن‌ها به‌طور تقریبی منطقی‌تر به‌نظر می‌رسد.
تذکر دوباره این نکته لازم است که رقم‌های موردنیاز اصلاحی خاک محاسبه شده، نیاز خالص آب آبشویی نمک‌های محلول می‌باشد و برای برآورد کل مقدار آب آبشویی لازم ضروری است که به مقدار تبخیر (از سطح آب و خاک)، میزان بارندگی و مقدار کسر رطوبت لایه‌های مورد نظر (تا حد ظرفیت مزرعه) نیز توجه شود و این عوامل را در محاسبات برنامه‌ریزی آبشویی و اصلاح خاک و زمین نیز در نظر گرفت.

چ) منحنی آبشویی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک مورد آزمون با استفاده از مدل تجربی انتخابی

به‌گونه‌ای‌که در مبحث تجزیه و تحلیل آماری و ارائه مدل مناسب بیان شد، مدل انتخابی در مورد این آزمون از نظر ریاضی به‌صورت تابع توانی است که در مقایسه با دیگر مدل‌های تجربی معرفی‌شده، رابطه برتر به‌شمار می‌آید. برای آسانی برآورد آب مورد نیاز آبشویی، می‌توان نسبت به تهیه منحنی آبشویی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک منطقه مورد مطالعه

نیز اقدام کرد. بدین ترتیب که عمق آب آبشویی (خالص) به عنوان تابعی از شوری خاک قبل از آبشویی نمک (EC_i) و برای سطوح شوری ۳۲، ۱۶، ۸ و ۴ دسی‌زیمنس‌برمتر بعد از انجام آبشویی منظور می‌شود. بدین‌ترتیب با تعیین میزان هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک و تصمیم‌گیری در مورد سطوح شوری موردنظر و با انتخاب لایه‌ای از خاک که اصلاح آن مورد-نظر است، می‌توان مقدار عمق آب آبشویی مورد نیاز را برآورد کرد. نتایج حاصل که براساس رقم‌های شوری‌زدایی خاک‌ها (مندرج در جدول پ–۷–۸ و رابطه‌های قبلی یعنی ۱تا ۴) حاصل شد، در شکل پ–۷–۲ نشان داده شده است.



شکل پ–۷–۲- منحنی آبشویی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک مورد آزمون در زمین‌های جنوب‌شرقی استان خوزستان

علاوه بر شکل بالا، استفاده مستقیم از رابطه‌های بیان‌شده نیز منظور را عملی می‌کند. با این حال برای آسانی برآورد و قضاوت درمورد مقادیر آب آبشویی لازم و برای کاهش مقادیر شوری کلاس‌های مختلف خاک و زمین در لایه‌های مختلف نیمرخ خاک محدوده مورد بررسی، جدول پ–۷–۱۲ نیز تهیه و به‌عنوان راهنما ارائه شده است، شایان ذکر است که رقم‌های محاسبه و ارائه‌شده در این جدول براساس رابطه (۴) این پیوست می‌باشد، که مدل مربوط به آن در این تحقیق به‌عنوان رابطه برتر در نظر گرفته شده است.

جدول پ-۷-۱۱- خلاصه نتایج حاصل از کاربرد مدل‌های تجربی آبشویی نمک خاک‌های شور، در زمین‌های جنوب شرقی استان خوزستان

ردیف	مشخصات مدل‌های تجربی مورد استفاده			مقادیر آب مورد نیاز اصلاح خاک (متر)			میانگین‌های آب مورد نیاز اصلاح خاک (متر)		رتبه تناسب مدل کاربردی
	نام مدل	سال ارائه	شکل ریاضی	اعمال اصلاحی خاک مورد نظر، Ds، متر					
				۱/۰۰	۰/۷۵	۰/۵۰	وزنی	هندسی	
۱	ریو	۱۹۵۷	هندلولی	۱/۳۶	۱/۰۲	۰/۶۸	۱/۰۲	۰/۷۵	۷
۲	دیلمان	۱۹۶۳	نمایی	۱/۸۰	۱/۳۵	۰/۹۰	۱/۳۵	۰/۹۹	۸
۳	لاگلز وشارما	۱۹۷۷	هندلولی	۰/۴۸	۰/۳۶	۰/۲۴	۰/۳۶	۰/۲۶	۳
۴	هافمن	۱۹۸۰	هندلولی	۰/۶۰	۰/۴۵	۰/۳۰	۰/۴۵	۰/۳۳	۵
۵	پذیرا و کاوه‌ی	۱۹۸۱	هندلولی	۰/۵۲	۰/۳۹	۰/۲۶	۰/۳۹	۰/۲۹	۴
۶	ورما و گوپتا	۱۹۸۹	توانی	۰/۶۸	۰/۵۱	۰/۳۴	۰/۵۱	۰/۳۸	۶
۷	پذیرا و کشاورز	۱۹۹۸	توانی	۰/۴۴	۰/۳۳	۰/۲۲	۰/۳۳	۰/۲۴	۲
۸	جدید	۲۰۰۳	توانی	۰/۳۶	۰/۲۷	۰/۱۸	۰/۲۷	۰/۲۰	۱

* در مورد کاربرد رابطه هافمن (۱۹۹۸۰) ابتدا مقدار ضریب مربوطه (K) بر پایه رقم‌های مندرج در جدول پ-۴-۸ برابر حدود ۰/۱ به‌دست آمد که بدین‌ترتیب در مربوطه K = ۰/۱ به‌کار رفته است.

** به‌دلیل آن‌که رقم‌های میانگین وزنی با مقادیر آب مورد نیاز اصلاحی خاک محاسبه شده لایه ۰/۷۵ متری شباهت داشته، نسبت به محاسبه میانگین هندسی اقدام شده است.

جدول پ-۷-۱۲- مقادیر آب لازم (خالص) برای کاهش عملی مقادیر شوری کلاس‌های مختلف نیمرخ خاک در اعماق مربوط (واحد، هزارمترمکعب در هکتار)

ردیف	کلاس شوری خاک پس از آبشویی نمک‌های محلول	کلاس‌های شوری خاک قبل از آبشویی نمک‌های محلول											
		S_1				S_2			S_3		S_4		
		اعماق مختلف نیمرخ خاک- سانتی‌متر											
		۰-۲۵	۲۵-۵۰	۵۰-۱۰۰	۱۰۰-۱۵۰	۰-۲۵	۲۵-۵۰	۵۰-۱۰۰	۰-۲۵	۲۵-۵۰	۰-۲۵	۲۵-۵۰	۵۰-۱۰۰
۱	S_0	۰/۶۵	۱/۹۰	۲/۸۵	۱/۹۰	۳/۸۰	۵/۷۰	۳/۶۰	۱/۹۰	۱۰/۸	۵/۰۰	۱۰/۰۰	۱۵/۰۰
۲	S_1	–	–	–	۰/۸۰	۱/۶۰	۲/۴۰	۱/۵۰	۲/۱۰	۴/۵	۳/۰۰	۴/۲۰	۶/۳۰
۳	S_2	–	–	–	–	–	–	۰/۷۵	۱/۵۰	۲/۲۵	۱	۲	۳
۴	S_3	–	–	–	–	–	–	–	–	–	۰/۵۵	۱/۱۰	۱/۶۵

تذکر : در محاسبات جدول بالا، مقدار S_4 معادل ۴۵/۰ دسی‌زیمنس‌برمتر و مقدار EC_{eq} برابر با ۱/۷۴ دسی‌زیمنس‌برمتر منظور شده است.

شرح علائم به این قرار است:

دسی‌زیمنس‌برمتر $S_0 < 4$ ، $S_1 = 8-4$ ، $S_2 = 16-8$ ، $S_3 = 32-16$ و $S_4 > 32$

.

ح) بررسی چگونگی تغییرات سرعت نفوذ پایه زمین‌ها در فرایند آبشویی نمک‌های محلول خاک

همان‌گونه که در مباحث قبل گفته شد، در مراحل افزایش اولین و آخرین میزان تناوب آب کاربردی یعنی ۲۵ سانتی‌متر اول و ۲۵ سانتی‌متر نهایی (که در این حالت عمق آب کاربردی به حدود ۱۰۰ سانتی‌متر می‌رسید)، افت سطح ایستابی از محل کرت‌های مدل (میانی) اندازه‌گیری و محاسبات لازم در مورد سرعت نفوذ پایه (اولیه و نهایی) خاک مورد آزمون انجام شد که نتایج به‌شرح زیر است:

(۵) سانتی‌متربرساعت $I_{Bi} = ۰/۸۰$

(۶) سانتی‌متربرساعت $I_{Bf} = ۰/۷۸$

بدین‌ترتیب ملاحظه می‌شود که در هر دو حالت، سرعت نفوذ پایه خاک (زمین) از نظر توصیفی متوسط (I_2) بوده و فرایند آبشویی نمک‌ها، تغییر چشمگیری در آن ایجاد نکرده است. با توجه به این موضوع و همچنین بررسی سایر اطلاعات (ارقام سدیم زدایی که در این مثال ارائه نشده) نشان می‌دهد که فرایند شوری‌زدایی در اثر آبشویی، روند سدیم‌زدایی خاک را نیز به‌دنبال داشته است و می‌توان نتیجه گرفت که در چنین شرایطی، نیازی به استفاده از مواد اصلاح‌کننده خاک در برنامه‌های اصلاح خاک و زمین منطقه مورد مطالعه، نمی‌باشد.

پیوست شماره هشت
مبانی نظری و عملی اختلاط آب‌های با کیفیت متفاوت

برای بررسی امکانات اجرای این گزینه ابتدا ضرورت دارد تا فرایند «اختلاط آب‌های با کیفیت‌های متفاوت» به دقت مورد مطالعه قرار گیرد. بدین‌منظور باید رابطه «تجربی یا عملی» ارائه شده به‌وسیله سازمان خواربار و کشاورزی جهانی (۱۹۸۵) موردتوجه قرار گیرد که مبانی نظری آن برای شوری (هدایت الکتریکی) به‌شرح زیر است:

$$\overline{EC}_w = a \,.\, EC_{wi} + b \,.\, EC_{wd} \qquad (۱)$$

که در آن :

$\overline{EC}_w$، شوری یا هدایت الکتریکی متوسط و تعادلی حاصل از اختلاط آبهای مربوطه (با کیفیت یا شوری‌های مشخص) برحسب دسی‌زیمنس برمتر (dS/m).

EC_{wi}، شوری یا هدایت الکتریکی آب مناسب، برحسب دسی‌زیمنس برمتر (dS/m).

EC_{wd}، شوری یا هدایت الکتریکی آب غیر مناسب ،برحسب دسی‌زیمنس بر متر (dS/m).

a و b، ضرایب تناسب (ثابت) اختلاط آبهای مربوطه است که کاربرد آنها موجب "حصول شوری متوسط و تعادلی" آبهای اختلاط یافته ($\overline{EC}_w$) می‌گردد.

در مورد ضرایب تناسب (ثابت) آبهای مورد اختلاط (آبهای مناسب و غیرمناسب) روابط ساده زیر باید به‌دقت موردنظر باشد.

$$\left.\begin{array}{l} a \;, b < ۱/۰ \\ a + b = ۱/۰ \\ a = ۱/۰ - b \\ b = ۱/۰ - a \end{array}\right\} \qquad (۲)$$

مقادیر ضرایب تناسب (a و b) می‌تواند برای شرایط اختلاط "حجمی" و یا "جریانی" به طور مستقیم و یا با اعمال "عملیات تناسب حسابی" مورد استفاده قرار گیرد. با جایگزینی

عبارت‌های [b = (۱ - a)] و یا [a = (۱ - b)] در رابطه (۱) رابطه‌های کمکی زیر حاصل می‌گردد:

$$\left.\begin{aligned} a &= \frac{\overline{EC}_w - EC_{wd}}{(EC_{wi} - EC_{wd})} \\ b &= \frac{\overline{EC}_w - EC_{wi}}{(EC_{wd} - EC_{wi})} \end{aligned}\right\} \qquad (۳)$$

بنابراین هرگاه یکی از ضرایب تناسب (اختلاط) از رابطه (۳) حاصل گردید، ضریب تناسب (اختلاط) دیگر را می‌توان به‌سهولت از طریق کاربرد رابطه‌های ارائه شده (۲) محاسبه نموده و مورد استفاده قرار داد. درخصوص ضرایب اختلاط (تناسب) بیان شده ذکر نکات زیر ضروری به‌نظر می‌رسد.

– ضریب تناسب (اختلاط) بزرگتر به‌طور معمول "منتسب" به آب با کیفیت یا شوری "مطلوب‌تر" و بنابراین ضریب تناسب (اختلاط) کوچکتر منتسب به آب با کیفیت یا شوری "نامطلوب‌تر" خواهد بود.

– در روابط گفته شده (روابط۱و۲) برای اختلاط آبهای با کیفیت متفاوت به‌منظور دست‌یابی به میزان هدایت الکتریکی (شوری) متوسط و تعادلی ($\overline{EC}_w$) صادق می‌باشند و برای محاسبه مقادیر نسبت جذب سدیم متوسط و تعادلی ($\overline{SAR}_w$) و یا واکنش یا اسیدیته متوسط و تعادلی ($\overline{pH}_w$) باید به مبانی "ریاضی یا حسابی" و مفاهیم "شیمیائی" مربوطه بذل توجه نموده و کاربرد مستقیم روابط گفته شده در مورد آنها کاربرد "مستقیم" نمی‌تواند داشته باشد.

پیوست شماره نه
محاسبه میزان سختی کل (TH) آبهای مصرفی

به طور کلی میزان سختی آبهای مورد مصرف به محتوی کاتیون‌های کلسیم (Ca^{2+}) و منیزیم (Mg^{2+}) موجود در آنها بستگی دارد. در کشاورزی و آبیاری اعتقاد بر آنست که «آب سخت زمین را نرم[1] و آب نرم زمین را سخت[2]» می‌کند. سختی کل آبها، به‌طور معمول برحسب قسمت در میلیون (میلی‌گرم بر لیتر یا ppm) کربنات کلسیم ($CaCO_3$) بیان می‌گردد و برای محاسبه آن رابطه زیر ارائه شده است.

$$TH = Ca \times \frac{CaCO_3}{Ca} + Mg \times \frac{CaCO_3}{Mg} \qquad (۱)$$

که در آن:

TH ، سختی کل آب بر حسب قسمت در میلیون یا میلی‌گرم بر لیتر،

Ca و Mg، کاتیون‌های موجود در آب برحسب قسمت در میلیون،

نسبت وزن اکی‌والان (= وزن اتمی ÷ والانس یا ظرفیت)

بنابراین:

$$\frac{CaCO_3}{Mg} = \frac{\left(\frac{۴۰ + ۱۲ + ۳ \times ۱۶}{۲}\right)}{\left(\frac{۲۴}{۲}\right)} \approx ۴/۱۶ \qquad (۲)$$

$$\frac{CaCO_3}{Mg} = \frac{\left(\frac{۴۰ + ۱۲ + ۳ \times ۱۶}{۲}\right)}{\left(\frac{۴۰}{۲}\right)} \approx ۲/۵ \qquad (۳)$$

1- Soft
2- Hard

با جایگزینی مقادیر نسبت‌های محاسبه شده در رابطه بالا شکل ساده شده محاسبه میـزان سختی کل بصورت زیر است:

$$TH = ۲/۵ \times Ca + ۴/۱۶ \times Mg \qquad (۴)$$

در این رابطه کلیه غلظت‌ها برحسب قسمت در میلیون یا میلی‌گرم در لیتر می‌باشد.

از طرفی:

قسمت در میلیون = میلی‌گرم بر لیتر $\rightarrow mg/lit = ppm$

اکی‌والنت در میلیون= میلی‌اکی والنت در لیتر $\rightarrow meq/lit = epm$

تساوی‌های بیان شده را می‌توان به‌صورت زیر نیز ارائه نمود:

$$meq/lit = \frac{\text{غلظت نمک برحسب میلی‌گرم بر لیتر}}{\text{وزن اکی‌والان}}$$

$$epm = \frac{\text{غلظت نمک برحسب قسمت در میلیون}}{\text{وزن اکی‌والان}}$$

بدین ترتیب رابطه دیگری را برای محاسبه سختی کل می‌توان ارائه نمود.

TH = (مجموع اکی‌والنت در میلیون کاتیون‌های Ca^{2+} و Mg^{2+}) × ۵۰

مثال: نتایج تجزیه شیمیایی نمونه آبی به‌شرح جدول زیر است:

نام عنصر	کاتیون‌های محلول			نام عنصر	آنیون‌های محلول		
	mg / lit	وزن اکی‌والان	meq/lit		mg / lit	وزن اکی‌والان	meq/lit
$Ca^{۲+}$	۵۶/۰	۲۰	۲/۸۰	$HCO_۳^-$	۲۵۶/۰	۶۱	۴/۲۰
$Mg^{۲+}$	۱۶/۰	۱۲	۱/۳۰	$CO_۳^{۲-}$	۲۴/۰	۳۰	۰/۸۰
Na^+	۸۵/۰	۲۳	۳/۶۹	Cl^-	۸۲/۰	۳۵	۲/۳۴
K^+	-	-	-	$SO_۴^{۲-}$	۴۳/۰	۴۸	۰/۸۹
جمع کل			۷/۷۹	جمع کل			۸/۲۳

محاسبه:

– ابتدا متوسط یا توازن کاتیون‌ها و آنیون‌ها را محاسبه می‌نماییم.

۸/۲۳ + ۷/۷۹ = ۱۶/۰۲ ÷۲= ۸/۰۱

– سپس می‌توان با استفاده از هر کدام از روابط « سختی کل آب » را محاسبه نمود.

قسمت در میلیون $TH = ۲/۵ \times ۵۶ + ۴/۱۶ \times ۱۶ = ۲۰۶$

قسمت در میلیون $TH = (Ca^{2+} + Mg^{2+}) \times ۵۰ = (۲/۸+۱/۳) \times ۵۰ = ۲۰۵$

توجه: آبهای مورد مصرف از نظر سختی کل (میلی‌گرم بر لیتر) در چهار گروه: نرم، کمی سخت، سختی متوسط و خیلی سخت طبقه‌بندی می‌گردند که مقادیر متناظر آنها به ترتیب ۵۵–۰ ، ۱۰۰–۵۶، ۲۰۰–۱۰۱ و ۵۰۰–۲۰۱ می‌باشد.

نکته: آبهای با سختی کل تا ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر برای مصارف مختلف احتیاج به سخت‌گیری[1] ندارند لیکن مقادیر ۵۰۰–۱۰۱ میلی‌گرم بر لیتر برای کلیه مصارف بخصوص شرب، صنعت و غیره نیاز به سخت‌گیری دارند.

1- Softening

منابع مورد استفاده در بخش نخست

توجه: منابعی که در انتهای بعضی فصول برای "مطالعه بیشتر" ارائه گردیده در فهرست زیر تکرار نشده است.

1- Abrol,I.P, Yadav,J.S.P, and F.I. Massaud.1988: Salt-affected soils and their management, FAO, Soils Buletin.No.39.
2- Abrol,I.P. and D.R. Bhumla.1972: Field studies on salt leaching in a highly saline-sodic soil. Soil Science, 115:429-433.
3- Ayers, R.S .and Westcat ,D.W.1985: Water quality for agriculture ,Irrigation and Drainage Paper No.29,Rev.1.FAO,Rome.
4- Biggar,J.W .and D.R. Nielson. 1967: Miscible displacement and leaching phenomena. in Irrigation of Agricultural Lands.
5- Bolt,G.H. and M.G.M. Bruggenwert, (Editors).1976: Soil Chemistry, A. Basic Elements. Elsevier, Amsterdam, 281 P.
6- Bresler,E,McNeal, B.I and D.L. Carter. 1982. Saline and Sodic Soils, Principle, Dynamics, Modeling, Springer-Verlag. Berlin.
7- Burd,J.S., and J.C.Martin.1923. Water displacement of soil and the soil solution, Journal of Agricultural Science 13:265-295.
8- Corey,J.C., Nielsen D.R., and J.W. Biggar. 1963: Miscible displacement in saturated and unsaturated sandstone. Soil Science Society of America Proceedings 27:258-262.
9- Day, P.R. and W.M. Forsythe. 1957: Hydrodynamic dispersion of solutes in the soil moisture stream. Soil Science Society of America Proceedings, 21:477-480.
10- Day, P.R. 1956: Dispersion of a moving salt water boundary advancing through saturated sand. Transactions of the American Geophysical Union 37:595-601.
11- Dieleman, P.J. 1963: Reclamation of salt -affected soils in Iraq. Veenman, Wageningen, 175 P.
12- Eaton,F.M. 1958: Salts in irrigation waters and soils. California Citrograph 44:4, 20-22.

13- Eaton,F.M. 1954: Formulas for estimating leaching and gypsum requirements of irrigation waters. Texas Agriculture Experiment Station, Miscellaneous Publication 111.
14- Eloubaidy, A.F, Hussain, S.M. and M.T.Al-Taie.1993: Field evaluation of desalinization models, Journal of Agricultural Water Management , 24:1-13.
15- Fetter,C.W. Jr. 1988: Applied Hydrogeology , John Willey ,2nd ed. PP 389-405.
16- Fuller,W.H. 1965: Water, soil and crop management principles for the control of salts, Arizona Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service Bulletin A, 43.
17- Ghuman,B.S., Verma, S.M. and S.S. Prihar. 1975: Effect of application rate, initial soil wetness, and redistribution time on salt displacement by water. Soil Science Society of America Proceedings, 39:7-10.
18- Hanson, B. Gratton, S.R. and A. Fulton. 2006: Agricultural Salinity and Drainage, University of California, Davis. USA.
19- Hoffman, G.J. 1980: Guidelines for reclamation of salt-affected soils. PP: 49-64 in Proceedings of International American Salinity and Water Management, Technical Conference. Juar. Mecxico.
20- Jurinak , J.J. 1981: Salt-affected soils, Utah state university. Logan, Utah. Chapter V pp1-13.
21- Jury, W.A., Jarrell,W.M. and D. Devitt .1979: Reclamation of saline-sodic soils by leaching. Soil Science Society of America Journal.43:1100-1106.
22- Keller,J. and J.F. Alfaro. 1966: Effect of water application rate on leaching. Soil Science, 102:107-114.
23- Kovda, V.A. 1973: Irrigation, drainage and salinity. An international source book, FAO/UNESCO.
24- Miller,R.J., Biggar ,J.W., and D.R. Nielsen. 1965: Chloride displacement in Panoche clay loam in relation to water movement and distribution . Water Resources Research 1:63-73.

25- Minhas,P.S, Sharma ,O.P., and S.G.Patil,(Editors). 1998: 25 Years of research on management of salt-affected soils and use of saline water in agriculture, CSSRI, Karnal, India, 220 P.
26- Mohsenifar .K, Pazira .E, and P. Najafi. 2006: Evaluation different type of leaching models in two pilots of South East Khuzestan province .Journal Research in Agricultural Science, Vol.2 No.1, IAU.Esfahan, Iran .pp 73-92.
27- Oswal,M.C. 1983: Soil physics, Vikas Publishing House, PVT .Ltd .New Delhi.214 P.
28- Pazira, E., Homaee .2010: Salt leaching efficiency of subsurface drainage systems at presence of diffusing saline water table boundary: A case study in Khuzestan plains, Iran, XVIIth World Congress of the International Commission of Agricultural Engineering (CIGR). Quebec City, Canada, Jun 13-17.
29- Pazira.E.2006: Gradual soil desalinization by irrigation water deep percolations (in Persian). Proceedings of the Fourth Workshop on Drainage , Iranian National Committee on Irrigation and Drainage, publication No 107, Tehran, Iran. pp 21-37.
30- Pazira.E and M. Homaee.2003: Salt affected resources in Iranian extension and reclamation. Proceeding of Agriculture and saving water for sustainable land and water resources applications, Yanglink, China.
31- Pazira ,E. 1999: Land reclamation research on soil physico-chemical improvement by salt leaching in south-western part of Iran, Innovation of Agricultural Engineering Technologies for the 21st Century ,P.R. China.
32- Pazira, E., Keshavarz, A., Torii, K. and Yamamoto, T. 1998: Studies on appropriate depth of leaching water, Proceedings of the International workshop on the use of saline and brackish water for irrigation. Bali, Indonesia, pp. 328-338.
33- Pazira, E., Vaziri, J., Keshavarz, A. and Kawachi, T. 1998: Practical evaluation of soil desalinization models.

Proceedings of the International agricultural engineering conference, Bangkok- Thailand, Vol. 3, pp. 648-655.

34- Pazira, E. and T, Kawachi. 1981: Studies on appropriate depth of leaching water, Iran .A case study. Journal of Integrated Agricultural Water Use and Freshening Reservoirs, Kyoto University Japan, 6:39-49.

35- Rajabzadeh .F, Pazira.E, Mahdian.M.H, Mahmoudi.S, and M..Heidarizadeh.2009: Leaching saline and sodic soils along with reclamation-rotation program in the Mid-Part of Khuzestan, Iran .Journal of Applied Science 9(22): 4020-4025.

36- Reeve R.C. 1957: The relation of salinity to irrigation and drainage requirements. Third Congress of International Commission on Irrigation and Drainage, Transactions 5:10.175-10.187.

37- Reeve, R.C., Pillsbury, A.F., and L.V., Wilcox. 1955: Reclamation of a saline and high boron soil in the Coachella Valley of California .Hilgardia 24:69-91.

38- Rhoades, J.D. 1974: Drainage for salinity control. Chapter 16, in: J.V.Schilfgaarde (Editor) Drainage for Agriculture, No. 17 in the Series of Agronomy. American Society of Agronomy, Inc. Publisher, Modison, Wisconsin , USA.

39- Richards, L.A., (Editor). 1954: Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. Agricultural Handbook No. 60, USDA, Washington, D.C.

40- Saffman, P.G. 1960: Dispersion due to molecular diffusion and microscopic mixing in flow through a network of capillaries. Journal of Fluid Mechanics 7:194-208.

41- Sharma, S.K. and H.R., Manchanda. 1996: Influence of leaching with different amounts of water on desalinization and permeability behavior of chloride and soluted-dominated soils. Agricultural Water Management.31:225-235.

42- Sparks,D.L.1995: Environmental soil chemistry, Academic Press, PP 219-232.

43- Szabolcs, I. 1989: Salt-affected soils, Boca Raton, Florida ,CRC Press.
44- Tanji, K.K (Editor). 1990: Agricultural salinity assessment and management .ASCE, USA, PP 410-431.
45- Van der Molen,W.H. 1979: Salt blance and leaching requirement, Drainage Principles and Application, Vol. II ,ILRI, The Netherlands.
46- Van Hoorn, J.W. 1981: Salt movement, leaching efficiency and leaching requirement. Agric ultural Water Management, 4:409-428.

منابع مورد استفاده در بخش دوم

۱- دستورالعمل آزمایش‌های آبشویی خاکهای شور و سدیمی در ایران، نشریه شماره ۲۵۵، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، دفتر استاندارد مهندسی آب، سازمان مدیریت منابع آب ایران، وزارت نیرو ۱۳۸۱.

۲- راهنمای کاربرد مدل‌های تجربی و نظری آبشویی نمک‌های خاک‌های شور، نشریه شماره ۳۵۹، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، دفتر استاندارد مهندسی آب، شرکت مدیریت منابع آب ایران، وزارت نیرو ۱۳۸۵.

۳- راهنمای برآورد ضریب زهکشی زیرزمینی در اراضی تحت آبیاری مناطق خشک و نیمه خشک، نشریه شماره ۳۱۹- الف، دفتر طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور، وزارت نیرو ۱۳۸۷.

4- Abrol, I.P, Yadav, J.S.P, and F.I. Massaud. 1988: Salt-affected soils and their management, FAO, Soils Buletin.No.39.

5- Ayers, R.S .and Westcat ,D.W.1985: Water quality for agriculture ,Irrigation and Drainage Paper No.29,Rev.1.FAO,Rome.

6- Bower, C, A. 1961: Prediction of the effects of irrigation waters on soils. Proceedings UNESCO Arid Zone Symposium, Salinity problems in the arid zones. Tehran, Iran, 215-222

7- CIGR, Handbook of Agricultural Engineering. 1999: Vol.1, Land and Water Engineering ,ASAE.

8- Dieleman, P.J.1963: Reclamation of salt- affected soils in Iraq. Veenman, Wageningen, 175 P.

9- Eaton, F.M. 1954: Formulas for estimating leaching and gypsum requirements of irrigation waters. Texas Agriculture Experiment Station, Miscellaneous Publication 111.

10- Eaton, F.M. 1958: Salts in irrigation waters and soils. California Citrograph 44:4, 20-22.

11- Fuller, W.H. 1965: Water, soil and crop management principles for the control of salts, Arizona Agricultural

Experiment Station and Cooperative Extension Service Bulletin A, 43.
12- Hill, R.A. 1961: Leaching requirements in irrigation. Journal of Irrigation and Drainage Division, American Society of Civil Engineering Proceedings, PP: 1-15.
13- Jurinak , J.J. 1981: Salt-affected soils, Utah state university. Logan, Utah. Chapter V pp1-13.
14- Klintworth, H. 1952: The use of brackish -water for irrigation. Farming in South Africa 27:45-51.
15- Leffelaar,P.A.,and Pal Sharma.1977: Leaching of a highly saline-sodic soil. Journal of Hydrology 32:203-218.
16- Magistad, O.C., and J.E. Chritiansem .1944: Saline soils, their nature and management .United States Department of Agriculture, Circular 707.
17- Pazira, E. 1999: Land reclamation research on soil physico-chemical improvement by salt leaching in south-western part of Iran, Innovation of Agricultural Engineering Technologies for the 21st Century ,P.R. China.
18- Pazira, E., Torii, K. and Keshavarz, A. 1997, Subsurface drain spacing computations ,based on multi cropping patterns, 7th ICID International Drainage Workshop, Penang-Malaysia, Vol.2, pp. 648-655.
19- Pazira, E. 1981: Hydrodynamics of salts in the soil, Journal of Integrated Agricultural Water Use and Freshening Reservoirs , Kyoto University, Japan,6:28-38.
20- Peterson, H.B. 1965: A theoretical consideration of leaching requirement of saline soils. Utah Agricultural Experiment Station, Mimeograph Series No.490.
21- Reeve, R.C., Allison ,L.E., and D.F. Peterson, Jr. 1948: Reclamation of saline-alkali soils by leaching, Delta area, Utah Agricultural Experiment Station, Bulletin, 335.
22- Reeve, R.C. 1953: Factors influencing drainage design in irrigated areas. Journal of Agricultural Engineering 34:88-90.

23- Reeve, R.C., Pillsbury, A.F., and L.V., Wilcox .1955: Reclamation of a saline and high boron soil in the Coachella Valley of California .Hilgardia 24:69-91.
24- Reeve R.C. 1957: The relation of salinity to irrigation and drainage requirements. Third Congress of International Commission on Irrigation and Drainage, Transactions 5:10.175-10.187.
25- Rhoades, J.D. 1974: Drainage for salinity control. Chapter 16, in: J.V. Schilfgaarde (Editor) Drainage for Agriculture, No. 17 in the Series of Agronomy. American Society of Agronomy, Inc. Publisher, Modison, Wisconsin , USA.
26- Rhoades ,J.D. and Merrill .S.D. 1976: Assessing the suitability of water for irrigation, Theoretical and empirical approaches. In : Prognosis of Salinity and Alkalinity. FAO ,Soils Bulletin 31.FAO,Rome pp 69-110.
27- Richards, L.A., (Editor). 1954: Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. Agricultural Handbook No. 60, USDA, Washington, D.C.
28- Ritzma, H.P. (Editor) .1994: Drainage, Principles, and Applications, ILRI, Publication, No 16, 2nd ed. Wageningen, Netherlands. .
29- Scofield, C.S. 1940: Salt balance in irrigated areas. Journal of Agricultural Research 61:17-39.
30- Tanji, K.K (Editor). 1990: Agricultural salinity assessment and management. ASCE, USA, pp 410-431.
31- Van der Molen,W.H. 1979: Salt blance and leaching requirement, Drainage Principles and Applications, Vol. II, ILRI, The Netherlands.
32- Van Hoorn, J.W. 1981: Salt movement, leaching efficiency and leaching requirement. Agricultural Water Management, 4:409-428.
33- Wilcox, L.V., and W.F. Resch. 1963: Salt balance and leaching requirement in irrigated lands. United States Department of Agriculture, Technical Bulletin, 1290.

Conservation of Physical Resources for Agricultural Production (Soil and Water)

Iranian National Committee on
Irrigation and Drainage (IRNCID)

By:
Ebrahim Pazira

ISBN: 978-964-1668-88-1
Publication Issue: 150
2012