

دستورالعمل آزمایشهای آبشویی خاکهای شور و سدیمی در ایران

نشریه شماره ۲۵۵

وزارت نیرو
سازمان مدیریت منابع آب
دفتر استاندارد مهندسی آب

سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور
معاونت امور فنی
دفتر امور فنی و تدوین معیارها
<http://www.omran.net/tsb.mpo>

جمهوری اسلامی ایران

دستورالعمل آزمایشهای آبشویی خاکهای شور و سدیمی در ایران

نشریه شماره ۲۵۵

وزارت نیرو
سازمان مدیریت منابع آب ایران
دفتر استاندارد مهندسی آب

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور
معاونت امور فنی
دفتر امور فنی و تدوین معیارها

فهرستبرگه

سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور. دفتر امور فنی و تدوین معیارها
دستورالعمل آزمایشهای آبشویی خاکهای شور و سدیمی در ایران/ معاونت امور فنی، دفتر
امور فنی و تدوین معیارها؛ وزارت نیرو، سازمان مدیریت منابع آب ایران، دفتر استاندارد مهندسی
آب. تهران: سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، معاونت امور پشتیبانی، مرکز مدارک علمی و
انتشارات، ۱۳۸۱.

۱۳۳ ص: جدول، نمودار. - (سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور. دفتر امور فنی و
تدوین معیارها؛ نشریه شماره ۲۵۵) (انتشارات سازمان مدیریت و برنامه ریزی
کشور؛ ۸۱/۰۰/۷۱)

ISBN 964-425-385-X

مربوط به بخشنامه شماره ۱۰۱/۱۴۸۹۳۵ مورخ ۱۳۸۱/۸/۱۵
کتابنامه: ص. ۱۳۲-۱۳۳

۱. خاک - آبشویی - دستنامه ها. ۲. خاک - بهسازی - دستنامه ها. ۳. خاک - نمکها.
۴. خاک - سدیم. الف. سازمان مدیریت منابع آب ایران، دفتر استاندارد مهندسی آب. ب.
سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور. مرکز مدارک علمی و انتشارات. ج. عنوان. د.
فروست.

۱۳۸۱ ش. ۲۵۵ س/ ۳۶۸ TA

ISBN 964-425-385-X

شابک X - ۹۶۴-۴۲۵-۳۸۵

دستورالعمل آزمایشهای آبشویی خاکهای شور و سدیمی در ایران

تهیه کننده: معاونت امور فنی، دفتر امور فنی و تدوین معیارها

ناشر: سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور. معاونت امور پشتیبانی. مرکز مدارک علمی و انتشارات

چاپ اول: ۱۰۰۰ نسخه، ۱۳۸۱

قیمت: ۱۴۰۰۰ ریال

لیتوگرافی: قاسملو

چاپ و صحافی: زحل چاپ

همه حقوق برای ناشر محفوظ است.



بسمه تعالی

ریاست جمهوری
سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور
دفتر رئیس سازمان

شماره:	۱۰۱/۱۴۸۹۳۵
تاریخ:	۱۳۸۱/۸/۱۵
بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران	
موضوع: دستورالعمل آزمایشهای آبشویی خاکهای شور و سدیمی در ایران	
به استناد آیین نامه استانداردهای اجرایی طرح های عمرانی موضوع ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه و درجه چهار چوب نظام فنی و اجرایی طرح های عمرانی کشور (مصوبه شماره ۲۴۵۲۵ / ت ۱۴۸۹۸ هـ مورخ ۱۳۷۵/۴/۴ هیات وزیران) ، به پیوست نشریه شماره ۲۵۵ دفتر امور فنی و تدوین معیارهای این سازمان ، با عنوان "دستورالعمل آزمایشهای آبشویی خاکهای شور و سدیمی در ایران" از نوع گروه سوم ابلاغ می گردد. دستگاه های اجرایی ، مهندسان مشاور ، پیمانکاران و عوامل دیگر می توانند ازاین نشریه به عنوان راهنما استفاده نمایند و در صورتی که روش ها، دستورالعمل ها و راهنماهای بهتر در اختیار داشته باشند، رعایت مفاد این نشریه الزامی نیست . عوامل یادشده باید نسخه ای از دستورالعمل ها ، روش ها یا راهنماهای جایگزین را برای دفتر امور فنی و تدوین معیارهای این سازمان ، ارسال دارند.	
محمد ستاری فر معاون رئیس جمهوری و رئیس سازمان	

پیشگفتار

استفاده از ضوابط، معیارها و استانداردها در مراحل تهیه (مطالعات امکان سنجی) مطالعه و طراحی، اجرا، بهره‌برداری و نگهداری طرحهای عمرانی بلحاظ توجیه فنی و اقتصادی طرحها، کیفیت طراحی و اجرا (عمر مفید) و هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری از اهمیتی ویژه برخوردار می‌باشد.

نظام فنی و اجرایی طرح‌های عمرانی کشور (مصوبه مورخ ۱۳۷۵/۴/۴ هیأت محترم وزیران) بکارگیری معیارها، استانداردها و ضوابط فنی در مراحل تهیه و اجرای طرح و نیز توجه لازم به هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری در قیمت تمام‌شده طرحها را مورد تأکید جدی قرار داده است. با توجه به مراتب یاد شده و شرایط اقلیمی و محدودیت منابع آب در ایران، امور آب وزارت نیرو (طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور) با همکاری معاونت امور فنی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور (دفتر امور فنی و تدوین معیارها) براساس ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه اقدام به تهیه استانداردهای مهندسی آب نموده است.

استانداردهای مهندسی آب با در نظر داشتن موارد زیر تهیه و تدوین شده است:

- استفاده از تخصصها و تجربه‌های کارشناسان و صاحب‌نظران شاغل در بخش عمومی و خصوصی
- استفاده از منابع و مآخذ معتبر و استانداردهای بین‌المللی
- بهره‌گیری از تجارب دستگاههای اجرایی، سازمانها، نهادها، واحدهای صنعتی، واحدهای مطالعه، طراحی و ساخت
- پرهیز از دوباره‌کاریها و اتلاف منابع مالی و غیرمالی کشور
- توجه به اصول و موازین مورد عمل مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران و سایر مؤسسات تهیه‌کننده استاندارد

ضمن تشکر از کارشناسان محترم برای بررسی و اظهار نظر در مورد این استاندارد، امید است مجریان و دست‌اندرکاران بخش آب، با بکارگیری استانداردهای یاد شده، برای پیشرفت و خودکفایی این بخش از فعالیتهای کشور تلاش نموده و صاحب‌نظران و متخصصان نیز با اظهار نظرهای سازنده در تکامل این استانداردها مشارکت کنند.

معاون امور فنی

پاییز ۱۳۸۱

ترکیب اعضای کمیته

این استاندارد با مشارکت اعضای کمیته فنی زهکشی (شماره ۲-۳) تهیه شده که اسامی ایشان به ترتیب حروف الفبا به شرح زیر است :

آقای مجتبی اکرم	مهندسین مشاور آبساران	فوق لیسانس مهندسی آبیاری و زهکشی
خانم بنفشه بهنام	طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور	فوق لیسانس مهندسی آبیاری و زهکشی
آقای ابراهیم پذیرا	واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی	دکترای مهندسی منابع آب
آقای علی حقیقت طلب	مهندسین مشاور مهتاب قدس	لیسانس مهندسی کارهای آبی
آقای احمد لطفی	مهندسین مشاور پندام	فوق لیسانس مهندسی آبیاری و آبادانی
آقای میراحمد میلانی	طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور	فوق لیسانس مهندسی هیدرولیک و آبیاری
آقای محمدباقر نحوی	شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس	فوق لیسانس مهندسی آبیاری و زهکشی

افراد زیر نیز به ترتیب حروف الفبا در نهایی نمودن نشریه مذکور مشارکت داشته اند.

آقای رضا احمدآبادی	وزارت نیرو	فوق لیسانس مهندسی تأسیسات آبیاری
آقای مجید خیاط خلقی	دانشگاه تهران	دکترای مهندسی منابع آب
آقای مجتبی رضوی نبوی	دفتر توسعه شبکه های آبیاری و زهکشی	فوق لیسانس مهندسی آبیاری و زهکشی

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	مقدمه
۲	۱- هدف و دامنه کاربرد
۲	۲- کلیات
۵	۱-۲ کنترل شوری و سدیم موجود در خاکها در اراضی تحت آبیاری
۷	۲-۲ اصول نام‌گذاری و طبقه‌بندی خاکهای شور و سدیمی
۸	۱-۲-۲ روش آزمایشگاه شوری ایالات متحده آمریکا
۹	۲-۲-۲ روش فرهنگستان علوم اتحاد جماهیر شوروی (سابق)
۱۰	۳-۲-۲ روش طبقه‌بندی سازمان خواربار و کشاورزی جهانی - یونسکو
۱۱	۴-۲-۲ روش طبقه‌بندی جامع وزارت کشاورزی ایالات متحده آمریکا
۱۲	۵-۲-۲ روش شناسایی و طبقه‌بندی خاک و اراضی در ایران
۱۴	۶-۲-۲ روش تعیین کلاس محدودیتهای شوری و سدیمی بودن خاک
۱۵	۳- مبانی شناخت و مسایل بهره‌برداری از خاکهای شور و سدیمی
۱۵	۱-۳ وضعیت خاکهای شور و سدیمی در ایران
۱۶	۲-۳ علل شور و سدیمی شدن خاکها در مناطق خشک و نیمه خشک
۱۶	۳-۳ مبانی تشخیص وضعیت شوری و سدیمی بودن خاکها
۱۸	۴-۳ مسایل بهره‌برداری از خاکهای شور و سدیمی
۲۴	۴- اصلاح و بهسازی خاکهای شور و سدیمی
۲۴	۱-۴ کلیات
۲۶	۲-۴ اصلاح و بهسازی خاکهای شور
۳۰	۳-۴ اصلاح و بهسازی خاکهای شور و سدیمی
۳۱	۴-۴ مواد شیمیایی بهساز (اصلاح‌کننده) خاکهای سدیمی، شور و سدیمی
۳۵	۵-۴ اصلاح و بهسازی خاکهای سدیمی (غیرشور)
۳۶	۱-۵-۴ اقدامات فیزیکی
۳۷	۲-۵-۴ روشهای بیولوژیکی
۳۷	۶-۴ نتیجه‌گیری از مبحث اصلاح و بهسازی خاکهای مسأله‌دار

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۳۸	۵- روش اجرای آزمایشها، فرآوری داده‌ها و نحوه نتیجه‌گیری
۳۸	۵-۱ مقدمه
۳۹	۵-۲ بررسی اسناد و مدارک موجود
۴۰	۵-۳ روشهای اجرایی آزمایشهای اصلاح خاک و اراضی
۴۴	۵-۴ نحوه تدوین گزارش و نتیجه‌گیری از نتایج و ارقام حاصل از اجرای آزمایشهای اصلاح خاک و اراضی
۴۸	۵-۵ کاربرد منحنی‌های شوری زدائی و سدیم زدائی خاکها
۴۹	۵-۵-۱ مثال موردی
۵۲	۵-۵-۲ برنامه تناوب زراعی پیشنهادی برای اصلاح خاک و اراضی در مطالعه موردی
۵۷	۵-۶ منحنی آبشویی املاح از نیمرخ خاکها
۶۴	۶- مدل‌های نظری آبشویی املاح محلول از نیمرخ خاکها
۶۴	۶-۱ مدل مخزن منفرد
۶۶	۶-۲ مدل مخزن منفرد با مجرای فرعی
۶۷	۶-۳ مدل سری مخازن
۶۸	۶-۴ مدل نظری ستون پیوسته خاک
۶۹	۶-۵ مدل انتقال - انتشار هیدرودینامیکی
۷۰	۶-۶ مدل تابع انتقال
۷۱	۶-۷ روش حل عددی
۷۲	۶-۸ ضریب بازده آبشویی
۷۵	۷- پیوستها
۷۷	پیوست شماره یک - ارائه مثالهای عملی در خصوص آزمایشهای آبشویی خاکهای شور و سدیمی
۱۱۹	پیوست شماره دو - شرح اجمالی رده‌های خاک که احتمال وجود افقهای شاخص شوری و سدیمی بودن در رده‌بندی آنها منظور شده است
۱۲۱	پیوست شماره سه - درجه‌بندی شوری خاک
۱۲۲	پیوست شماره چهار - تذکر نکاتی در زمینه آزمایشهای متداول در تجزیه‌های شیمیایی خاک
۱۲۵	پیوست شماره پنج - جداول موردنیاز مطالعات اصلاح خاک و اراضی
۱۳۰	پیوست شماره شش - معادلات مربوط به بررسی امکانات کاربرد معادله تخمینی درصد سدیم
	تبادلی خاکها
۱۳۱	پیوست شماره هفت - بعضی تبدیلات سودمند در مطالعات اصلاح خاک و اراضی
۱۳۲	منابع و مأخذ

فهرست جداول

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۹	جدول شماره ۱- طبقه‌بندی کیفی خاکها از نظر کشاورزی
۲۰	جدول شماره ۲- طبقه‌بندی اراضی شور در ارتباط با تأثیر آن در عملکرد محصول، غلظت عصاره اشباع و فشار اسمزی محلول خاک
۲۰	جدول شماره ۳- حد تحمل گیاهان به عنوان تابعی از هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک مقدار محصول نسبی (بر حسب درصد) برای کاربرد در معادله شماره (۴)
۳۳	جدول شماره ۴- انواع و مقادیر مواد اصلاح کننده (معادل یک تن گچ)
۵۳	جدول شماره ۵- مقادیر بارندگی، تبخیر و تعرق ماهیانه در دشت هندیجان استان خوزستان
۶۳	جدول شماره ۶- مقادیر آب لازم (خالص DLw) برای کاهش مقادیر شوری کلاسهای مختلف خاک در اعماق مربوط در آزمایشهای اصلاح خاک و اراضی دشت هندیجان استان خوزستان

فهرست شکلها

۵۰	شکل شماره ۱- منحنی شوری زدایی خاکهای سری غرگانه، دشت هندیجان در استان خوزستان
۵۱	شکل شماره ۲- منحنی سدیم زدایی خاکهای سری غرگانه، دشت هندیجان در استان خوزستان
۵۸	شکل شماره ۳- منحنی ترکیبی مطالعات شوری زدایی خاکهای دشت هندیجان در استان خوزستان
۵۹	شکل شماره ۴- منحنی ترکیبی مطالعات سدیم زدایی خاکهای دشت هندیجان در استان خوزستان
۶۲	شکل شماره ۵- منحنی آبشویی املاح محلول از نیمرخ خاکهای دشت هندیجان در استان خوزستان

فهرست پیوستها

عنوان	صفحه
پیوست شماره یک : شرح اجمالی رده‌های خاک که احتمال وجود افقهای شاخصهای شوری و سدیمی بودن در رده‌بندی آنها منظور شده است	۱۲۱
پیوست شماره دو : درجه‌بندی شوری خاک	۱۲۳
پیوست شماره سه : تذکر نکاتی در زمینه آزمایشهای متداول در تجزیه شیمیایی خاک	۱۲۴
پیوست شماره چهار (الف): مساحت و درصد از مساحت کل سریهای خاک و فازهای مربوط در محدوده مطالعاتی	۱۲۷
پیوست شماره چهار (ب): وضعیت فازهای مربوط به هر سری خاک از نظر ویژگیهای بافت و نفوذپذیری لایه‌های زیرین و تحت کلاسه‌های مربوط در محدوده مطالعاتی	۱۲۸
پیوست شماره چهار (پ): توزیع مساحت سریهای متفاوت خاک در کلاسه‌ها و تحت کلاسه‌های مربوطه در خاکهای محدوده مطالعاتی	۱۲۹
پیوست شماره چهار (ت): توزیع کلاسه‌های شوری و قلیائیت خاک و اراضی در سریهای خاک و فازهای مربوط در محدوده مطالعاتی	۱۳۰
پیوست شماره چهار (ث): مساحت و درصد کلاسه‌های متفاوت شوری و قلیائیت خاک و اراضی در سریهای مختلف خاکهای محدوده مطالعاتی	۱۳۱
پیوست شماره پنج : معادلات مربوط به بررسی امکانات کاربرد معادله تخمینی درصد سدیم تبادل خاکها	۱۳۲
پیوست شماره شش : بعضی تبدیلات سودمند در مطالعات اصلاح خاک و اراضی	۱۳۳

مقدمه

بهره‌برداری از اراضی تحت آبیاری در مناطق خشک و نیمه خشک ممکن است با یک یا مجموعه‌ای از مسایل زیر روبه‌رو شود:

- تجمع املاح در نیمرخ خاک،
- نفوذپذیری کم خاکها،
- آهسته بودن نسبی سرعت حرکت آب در خاک، و
- تخریب ساختمان خاک.

عوامل فوق‌الذکر به نحو قابل توجهی بر امکانات بهره‌وری مطلوب از خاکها مؤثر است. بدون شک، اعمال روشهای آبیاری نادرست، موجب بروز و توسعه بیشتر این مشکلات می‌شود.

آبیاری مناسب نه تنها کمبود رطوبت خاک^۱ را تأمین می‌کند، بلکه سبب تهویه مطلوب خاک نیز می‌گردد. به‌طور کلی آبیاری خاک باید به نحوی به انجام رسد که موجب هدر رفتن بیش از حد آب از طریق هرز آب سطحی^۲ و یا نفوذ عمقی^۳ نگردد. بدیهی است به‌منظور کنترل بیلان آب و املاح در محدوده رشد و نمو ریشه گیاه، ملحوظ داشتن مقادیری نفوذ عمقی، افزون بر نیاز آبی گیاه، ضرورت دارد. هرگاه مقادیر آبی که به وسیله آبیاری به خاک اضافه می‌شود، منحصرأً جهت مرتفع نمودن کسری رطوبت خاک باشد، رطوبت انباش شده در خاک صرف تبخیر و تعرق خواهد شد و در نتیجه جذب آب به وسیله ریشه های نبات، املاح محلول آب کاربردی در نیمرخ خاک باقی مانده و در صورت تراکم آنها در محیط، خاکها به سمت شور شدن^۴ گرایش پیدا می‌کند. سرعت این فرآیند در مناطق خشک و نیمه خشک که غالباً کیفیت آبهای مورد مصرف در آبیاری نامطلوبتر می‌باشد، بیشتر است. در هر حال هرگاه در منطقه‌ای خاکها به‌طور طبیعی شور باشد و یا بر اثر آبیاری شور شده باشد، اعمال آبشویی^۵ و یا در بعضی شرایط انجام آن به‌همراه کاربرد مواد اصلاح‌کننده خاک^۶ (مواد بهساز) الزامی است.

در اکثر حالات، بروز و توسعه شوری خاک^۷ و یا سدیمی شدن^۸ آن ناشی از نامطلوب بودن شرایط طبیعی زهکشی خاکهاست. بنابراین در چنین شرایطی لزوم توجه به احداث یک سیستم زهکشی مناسب ضرورت دارد. به هر حال توسعه آبیاری در مناطق خشک و نیمه خشک، مستلزم کنترل دایم میزان شوری در منابع خاک و آب آبیاری است.

1- Soil Moisture Deficit

2- Surface Run - Off

3- Deep Percolation

4- Salinization

5- Initial/Capital Leaching

6- Soil Amendments

7- Soil Salinity

8- Soil Sodicity

۱- هدف و دامنه کاربرد

هدف از تهیه این دستورالعمل، ارائه رهنمودهای لازم برای شناخت، بهسازی و بهره‌برداری از خاکهای متأثر از مشکلات شوری و سدیمی شدن می‌باشد تا با استفاده از آن بتوان نسبت به انجام آزمایشهای شوری‌زدایی، سدیم‌زدایی و تهیه منحنیهای آبشویی املاح از نیمرخ خاکهای مبتلا به و سرانجام تحلیل نتایج به دست آمده از این آزمونها اقدام نمود. یادآوری این نکته ضرورت دارد که در این مجموعه اصلاح فیزیکی - شیمیایی خاکها مورد توجه است، و اصلاح بیولوژیکی آنها مقوله جداگانه‌ای است که از دامنه کاربرد این نشریه خارج است. ذکر این نکته لازم است که برای آبشویی املاح اختصاصی نظیر بر (B^+) نیز می‌توان از رویه مشابه‌ای استفاده کرد.

۲- کلیات

- اصول کلی اصلاح و بهسازی خاکهای شور و سدیمی، مشتمل بر موارد زیر است:
- آبشویی املاح محلول و تراکم یافته در منطقه توسعه ریشه‌ها،
 - در صورت لزوم انجام عملیاتی که منجر به جایگزینی کلسیم (Ca^{2+}) با سدیم تبادلی ($Ex.Na^+$)، در هم‌تافت تبادلی خاک^۱ گردد، و
 - جلوگیری از گرایش مجدد آنها به شوری و سدیمی شدن.

موضوع شورشدن مجدد خاکها، معلول پدیده خیز موئینه‌ای ناشی از کم عمق بودن سطح سفره‌های آب زیرزمینی (عمدتاً با کیفیت نامطلوب) در خاکهای بالنسبه سنگین بافت می‌باشد. در نتیجه لازم است که در چنین مواقعی اقدام به تعمیق سطح آب زیرزمینی گردد.

بدون شک جلوگیری از گرایش مجدد خاکها به شوری، مستلزم جلوگیری از زهدار و ماندابی شدن اراضی است. تحقق این امر با احداث شبکه زهکشی زیرزمینی امکان‌پذیر است که به وسیله آن می‌توان سطح آب زیرزمینی را در مزرعه در اعماق مناسب کنترل و نگهداری نمود. تعیین عمق مطلوب کنترل سطح آب زیرزمینی تابع عوامل متعددی و از جمله عوامل زیر است:

- شرایط اقلیمی و خصوصاً شدت تبخیر و مقدار فزونی آن بر میزان نزولات آسمانی، به‌طوری که در مناطق پرباران می‌توان عمق کنترل سطح ایستابی کمتری را انتخاب نمود و بالعکس در نواحی خشک و کم باران لازم است که سطح کنترل آب زیرزمینی عمیق تر باشد،
- بافت خاک، اهمیت این عامل مرتبط با حاشیه موئینه‌ای رطوبت در خاکهای سنگین و میان بافت می‌باشد، که در

1- Soil Exchange Complex

- صورت وجود آب زیرزمینی کم عمق باعث تبخیر آب زیرزمینی و تجمع نمک در سطح و نیمرخ خاک می شود،
- کیفیت آب زیرزمینی و آب آبیاری که در این خصوص هرچه کیفیت آب مناسب تر باشد، عمق کمتری را جهت کنترل سطح ایستابی می توان در نظر گرفت.
- نحوه اجرای عملیات زراعی، چگونگی اعمال مدیریت و پیشرفته بودن تکنیکها و روشهای آبیاری.

در ارتباط با روشهای آبیاری لازم است، توجه گردد که براساس اطلاعات موجود، بازده کاربرد آبیاری سطحی، حتی در پیشرفته ترین شرایط بیشتر از ۷۵ درصد گزارش نشده است. روشن است که مقداری از این تلفات، صرف نفوذ عمقی می گردد. بدین ترتیب در انتخاب عمق مطلوب کنترل سطح ایستابی باید به میزان نفوذ عمقی ناشی از کاربرد آب آبیاری و آبشویی نیز توجه خاص مبذول گردد. از همین روست که:

- در مناطق خشک، معمولاً آبشویی املاح محلول به وسیله کاربرد آب آبیاری و از طریق نفوذ عمقی آب کاربردی و یا اضافه کردن میزان آب لازم برای آبشویی، به آب کاربردی صورت می گیرد؛
- در مناطق نیمه خشک در اکثر اوقات، آبشویی املاح متراکم شده در نیمرخ خاک، به طور طبیعی به وسیله نزولات آسمانی به انجام می رسد (منوط به عمیق بودن سطح سفره آب زیرزمینی)، و
- در مناطق مرطوب و پر باران، آبشویی املاح محلول از نیمرخ خاک، به تدریج به وسیله نزولات آسمانی صورت می گیرد، و عموماً در این مناطق مشکل شوری کمتر مشاهده می گردد.

تجارب موجود نشان می دهد که در بیشتر شرایط، آبشویی املاح محلول از نیمرخ خاکها عمل ساده «جایگزینی آب حاصل از نفوذ عمقی با عصاره اشباع محلول خاک» نیست، بلکه مربوط به فرایند دو پدیده توأمان پخشیدگی^۱ و انتشار املاح^۲ محلول در نیمرخ خاک می باشد که اصطلاحاً به فرایند «جایگزینی اختلاط پذیر^۳» موسوم است. در نتیجه این فرایند، آبی که به طور عمقی در خاک نفوذ می کند با رطوبت موجود در نیمرخ خاک اختلاط می یابد و سپس با ادامه نفوذ، املاح محلول را نیز به اعماق منتقل می کند. هرچه عمق آب مورد نیاز برای آبشویی کامل املاح کمتر

1- Diffusion

پخشیدگی یا حرکت گرمایشی، این حرکت مرتبط با جابه جایی غیر منظم ذرات منفردی است که اندازه آنها برابر با اندازه ملکول می باشد. این حرکت در اثر انرژی حرارتی ملکولها در محلول خاک به انجام می رسد.

2- Dispersion

انتشار (پراکندگی)، نتیجه نقل و انتقال یونها به وسیله حرکت آب یا سیال می باشد، این عامل در محلول خاک به عنوان جریان گرانو یا جریان توده ای نیز نامیده می شود.

3- Miscible Displacement

جایگزینی اختلاط پذیر، فرآیندی است که هرگاه، سیالی با سیال دیگر اختلاط یافته و جایگزین آن گردد به وقوع می پیوندد.

باشد، بازده آبشویی بیشتر خواهد بود. بازده آبشویی املاح از نیمرخ خاک تابع عواملی از جمله: میزان رطوبت خاک، مقدار آب آبشویی، اندازه و آرایش خلل و فرج خاک، روش آبشویی و بالاخره پراکنش عمودی و تراکم املاح در نیمرخ خاک است.

در خاکهای سدیمی، شور و سدیمی، معمولاً فرایند تبادل یونی^۱ در اثنای آبشویی املاح به وقوع می پیوندد که ضمن 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 می رسد. فرایند اصلاح خاکهای سدیمی، جایگزین شدن یونهای کلسیم و یا منیزیم بایونهای سدیم جذب شده بر سطح ذرات رس است. لازمه جایگزینی کلسیم (Ca^{2+}) و یا منیزیم (Mg^{2+}) با سدیم قابل تبادل (Ex. Na^+) آن است که مقادیر متناسبی یون کلسیم و یا منیزیم در محلول خاک موجود باشد. به این ترتیب، اساسی ترین نقش آبشویی و اصلاح اراضی در خاکهای شور و سدیمی، خارج کردن یون سدیم جایگزین شده (که به فرم املاحی با حلالیت زیاد در محلول خاک باقی می ماند) خواهد بود.

برخلاف تصور، حتی در بعضی از خاکهای آهکی، گاهی تراکم یونهای کلسیم جهت فرایند تبادل یونی با یونهای سدیم در همتافت تبادلی خاک ناکافی است. در این موارد کاربرد مقادیر زیادی مواد آلی (کود دامی یا کود سبز) می تواند از طریق تولید و افزایش فشار گاز کربنیک در خاک، موجبات حلالیت بیشتر آهک خاک را فراهم آورد و آثار کاربرد آب آبشویی را بهبود بخشد.

با به کاربری موادی از قبیل: اسید سولفوریک و گوگرد عنصری (گوگردی که پس از عمل اکسایش^۲ از طریق فرایندهای میکروبیولوژیکی می تواند تولید اسید نماید) نیز می توان نسبت به تغییر فرم شیمیایی املاح کربنات کلسیم به گچ (به علت حلالیت بیشتر سولفات کلسیم) اقدام نمود و از گرایش کیفیت چنین خاکهایی به سمت سدیمی شدن در مرحله آبشویی جلوگیری کرد. در غیر این صورت، کاربرد مستقیم مقادیر لازم گچ، به عنوان ماده اصلاح کننده ضرورت خواهد داشت.

قابل ذکر است که خاکهای سدیمی، شور و سدیمی ایران، به ویژه خاکهایی که از نهشته شدن رسوبات رشته کوههای زاگرس تشکیل شده اند، در اکثر مواقع به طور طبیعی دارای مقادیر نسبتاً زیادی کلسیم می باشند. بنابراین کاربرد آب آبشویی به تنهایی می تواند در بسیاری از حالات در اصلاح آنها مؤثر واقع گردد. در هر حال باید توجه داشت که آب آبشویی نیز باید حاوی مقادیر نسبتاً کمی املاح محلول بوده و از نسبت سدیم به کلسیم متناسبی نیز برخوردار باشد.

با توجه به مطالب فوق می توان نتیجه گرفت که آثار نامطلوب فرایندهای شوری و یا سدیمی بودن که غالباً با ماندابی و زهداربودن اراضی همراه می باشد در درازمدت می تواند امکانات آبیاری اراضی را با مشکلات زیادی روبه رو نماید که برای مقابله با این مشکل باید شرایط زهکشی خاک را بهبود بخشید و روشهای آبیاری و عملیات مزرعه ای را با دقت مدیریت کرد. چنین اقداماتی را می توان به طور اختصار به شرح زیر بیان کرد:

- کاربرد مقادیر آب اضافی در آبیاری، به نحوی که املاح انباشته شده از نیمرخ خاک و ناحیه رشد ریشه ها خارج گردد. به عبارت دیگر مدیریت آبیاری باید به طریقی اعمال شود که املاح محلول فرصت تمرکز و تراکم در حوزه رشد و توسعه ریشه ها را نداشته باشند.
- اعمال مدیریت بر نحوه توزیع آب آبیاری، به نحوی که نفوذ عمقی بیش از حد لازم، موجبات خیزش سطح آب زیرزمینی را فراهم نیاورد. البته این امر در مناطق با زهکشی طبیعی ضعیف مستلزم احداث شبکه زهکشی زیرزمینی است.
- احداث سیستم زهکشی سطحی، به طوری که امکان جمع آوری و انتقال روانابهای سطحی حاصل از نزولات آسمانی و یا کاربرد آب آبیاری به سهولت امکان پذیر گردد.
- کاربرد مواد اصلاح کننده خاک از قبیل: گچ، اسید سولفوریک و سایر مشتقات گوگردی به گونه ای که طی مراحل فرایند آبشویی، آثار سوء سدیمی شدن در خاک ایجاد و یا تشدید نگردد.

۱-۲ کنترل شوری و سدیم موجود در خاکها در اراضی تحت آبیاری

عدم توجه به این مهم که بهره برداری از اراضی تحت آبیاری، مستلزم رعایت کلیه اصول لازم برای جلوگیری از شوری و سدیمی شدن است، می تواند منجر به کاهش قابل توجه عملکرد محصولات کشاورزی گردیده شود و یا اصولاً به عدم برداشت محصول منتهی گردد.

در مناطقی که منابع آب در دسترس محدود نبوده و آب آبیاری کیفیت مناسبی دارد، لازم است قبل از کشت و کار در زمینهای شور نسبت به آبشویی املاح محلول و اصلاح خاک اقدام شود. در حالتی که کیفیت آب آبیاری نامطلوب و یا مقدار آب در دسترس برای آبشویی محدود باشد، ممکن است اجرای عملیات اصلاح و بهسازی خاک در مقیاس کامل مقرون به صرفه نباشد. در این صورت عملیات اصلاحی، تنها به اعمال توجه خاص برای کنترل پیامدهای نامطلوب ناشی از مسایل شوری و سدیمی بودن منابع خاک و آب، محدود می گردد. به طور مثال در چنین شرایطی لازم است میزان رطوبت خاک همواره در سطح مناسبی نگهداری گردد تا آثار سوء شوری خاک تشدید نشود. بدین منظور، آبیاری باید به طریقی اعمال گردد تا املاح محلول از ناحیه رشد و نمو ریشه گیاهان خارج شده و رطوبت خاک از حدود معین کمتر نشود.

تعبیه سیستم مناسب زهکشی به نحوی که طی دوره رشد و نمو گیاه قادر به کنترل سطح ایستابی پایین تر از منطقه رشد ریشه نباتات باشد، اقدام بسیار کارسازی در کنترل شوری خاک محسوب می گردد. در مناطقی که میزان نزولات آسمانی قابل توجه است، امکان دارد که نزولات جوی برای آبخوئی طبیعی املاح تراکم یافته در نیمرخ خاک طی دوره زراعی کفایت کند.

- نیاز آبخوئی^۱

برای اولین بار آزمایشگاه شوری ایالات متحده امریکا، نیاز آبخوئی را به عنوان بخشی از آب آبیاری که باید افزون بر نیاز آبی گیاه به خاک داده شود توصیف نمود. کاربرد این میزان آب اضافی برای آبخوئی املاح محلولی که به وسیله آب آبیاری به خاک اضافه می شود و خارج کردن آن از محدوده رشد و توسعه ریشه گیاهان لازم است. در این تعریف نیاز آبخوئی مبتنی بر تثبیت غلظت املاح در محدوده ریشه گیاه است و کاهش غلظت املاح محلول در نیمرخ خاک در آن ملحوظ نمی باشد.

طبق تعریف فوق، نیاز آبخوئی املاح با میزان غلظت املاح در آب آبیاری (EC_{iw}) و زه آب (EC_{dw}) مرتبط است. هرگاه عمق آب آبیاری به صورت (D_{iw}) و عمق آب زهکشی یا زه آب به صورت (D_{dw}) نشان داده شود، رابطه زیر نیاز آبخوئی را بیان می کند:

$$LR = \frac{D_{dw}}{D_{iw}} = \frac{EC_{iw}}{EC_{dw}} \quad (۱)$$

چنانچه از هرز آب سطحی صرف نظر شود، عمق آب آبیاری (D_{iw}) برابر مجموع آب مصرفی گیاه (D_{cw}) و آب زهکشی (D_{dw}) می باشد. بنابراین:

$$D_{iw} = D_{cw} + D_{dw} \quad (۲)$$

با استفاده از معادلات فوق رابطه زیر را می توان نتیجه گرفت:

$$D_{iw} = \frac{D_{cw}}{(1 - LR)} = \left(\frac{EC_{dw}}{EC_{dw} - EC_{iw}} \right) \cdot D_{cw} \quad (۳)$$

روابط فوق مقدار آب مورد نیاز برای آبخوئی را بسیار محتاطانه و بیش از مقادیر لازم تخمین می زند و به همین لحاظ بعداً روابط دیگری برای نیاز آبخوئی ارائه شده است.

1-Leaching Requirement(LR)

روابط فوق نارسایی به شرح زیر را در بر دارد:

- توزیع غیر یکنواخت املاح در نیمرخ خاک در آنها ملحوظ نیست. این موضوع ممکن است در پاره‌ای از موارد آثار معنی‌دارتری از کل میزان املاح خاک داشته باشد.
- در روابط فوق شوری زه آب (EC_{dw}) به عنوان ملاک تشخیص حد تحمل گیاه به شوری (با کاهش عملکرد معین) در نظر گرفته شده است، در حالی که عملاً مقدار آن با شوری عصاره اشباع خاک که معیار مستقیم تری برای این منظور است می‌تواند متفاوت باشد.
- روابط فوق تنها در صورتی صادق است که حرکت آب و املاح در خاک به حالت ماندگار درآمده و تغییراتی نسبت به زمان نداشته باشد. عملاً در زمان کاربرد آب آبیاری بر روی خاکهای خشک، غلظت زه آب اولیه خاک ممکن است ده‌ها برابر غلظت املاح محلول عصاره اشباع خاک باشد که دلیل پدیدآورنده آن را می‌توان تراکم املاح در جبهه رطوبتی خاک دانست. این مهم نیز در روابط بالا دیده نمی‌شود.
- روابط بالا بر این اساس بنیان گذاشته شده که حرکت آب و املاح در خاک یک بعدی (قائم) باشد و غلظت آب زهکشی (محلول خاک) در تمام ستون خاک یکسان فرض گردد. در حالی که عملاً به موجب نظریه «جایگزینی اختلاط‌پذیر»، آب در مسیر حرکت قائم خود با محلول خاک امتزاج می‌یابد و به‌طور نسبی موجبات کاهش املاح تمامی محلول خاک در محدوده رشد ریشه را فراهم می‌آورد.
- در این الگو، نوع املاح و به‌ویژه درجه حلالیت آنها مورد توجه قرار نگرفته است. این موضوع نیز می‌تواند در پاره‌ای موارد آثاری به مراتب معنی‌دارتر از میزان کل املاح خاک داشته باشد.
- در این مدل، رفتارها و پیامدهای ناشی از ویژگی‌های فیزیکی خاک نظیر: نفوذپذیری، بافت، ... و همچنین خصوصیات شیمیایی آن از جمله: ترسیب، جذب، حلالیت و... منظور نگردیده و بدیهی است که هرکدام از این عوامل می‌تواند آثار و پیامدهای خاص خود را داشته باشد.

بدین ترتیب ملاحظه می‌شود که کاربرد معادلات فوق برای تعیین نیاز آبیاری بدون توجه به نکات مطرح شده می‌تواند منشأ خطاهای قابل ملاحظه‌ای در محاسبات و برآورد آب مورد نیاز آبیاری شود. بنابراین پیشنهاد می‌نماید در این ارتباط از روابط علمی-تجربی ارائه شده در منابع شماره ۱۲، ۱۳ و ۱۷ استفاده شود.

۲-۲ اصول نام‌گذاری و طبقه‌بندی خاکهای شور و سدیمی

- خاکهای شور و سدیمی براساس دو مشخصه مهم زیر تعریف، ارزیابی و طبقه‌بندی می‌شوند:
- تراکم یا غلظت املاح محلول در حدی که بر روی رشد و نمو گیاهان اثر سوء گذارد،
 - دارا بودن درصد سدیم تبادلی^۱ (ESP) به‌میزانی که بر اثر تخریب ساختمان خاک پایداری خاکدانه‌ها تضعیف گردد.

1- Exchangeable Sodium Percentage

روشهای متنوعی برای بررسی، نامگذاری و طبقه‌بندی این نوع خاکها وجود دارد که ذیلاً مهمترین آنها تشریح خواهد شد:

۱-۲-۲ روش آزمایشگاه شوری ایالات متحده امریکا^۱

این روش که در سال ۱۹۵۴ به وسیله ریچاردز^۲ ابداع و به وسیله آزمایشگاه شوری ایالات متحده امریکا ارائه گردیده است، مرسوم ترین روش طبقه‌بندی خاکهای شور و سدیمی می‌باشد و در آن از دو معیار شوری خاک برحسب هدایت الکتریکی عصاره اشباع^۳ (EC_e) و درصد سدیم تبادلی (ESP) استفاده می‌شود. نامگذاری و طبقه‌بندی خاکهای شور و سدیمی با استفاده از این روش به شرح زیر است:

- خاکهای شور^۴: به خاکی اطلاق می‌گردد که میزان هدایت الکتریکی عصاره اشباع (EC_e) آن بیشتر از چهار دسی‌زیمنس بر متر (dS/m) در ۲۵ درجه سانتیگراد، و درصد سدیم تبادلی (ESP) آن کمتر از ۱۵ باشد. واکنش (pH) این قبیل خاکها معمولاً از ۸/۵ کمتر است. آنیونهای غالب آن راکلر (Cl^-) و سولفات (SO_4^{2-}) تشکیل می‌دهد. میزان آنیون بیکربنات (HCO_3^-) آن به مقدار کم و آنیون نترات (NO_3^-) به ندرت در این خاکها وجود دارد. طبق یک قاعده کلی، میزان کاتیون سدیم (Na^+) آن کمتر از ۵۰ درصد کل کاتیونهای محلول خاک است. در این نوع خاکها سایر املاح نظیر: کربنات کلسیم ($CaCO_3$) و گچ ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) نیز ممکن است وجود داشته باشد.

- خاک غیر شور و سدیمی^۵: خاکی است که در آن شوری عصاره اشباع خاک (EC_e) در ۲۵ درجه سانتیگراد از چهار دسی‌زیمنس بر متر (dS/m) کمتر و درصد سدیم تبادلی آن از ۱۵ بیشتر باشد. pH این قبیل خاکها از ۸/۵ بیشتر و گاه به ۱۰ نیز می‌رسد. سدیم کاتیون اصلی و غالب در محلول خاک است. این خاکها اغلب دارای مقادیری کربنات کلسیم ($CaCO_3$) می‌باشند که به دلیل پایین بودن درجه حلالیت آن منبع مناسبی برای شرکت در فرایند اصلاح و بهسازی خاکها محسوب نمی‌گردد، مگر آن که pH خاک کاهش داده شود. این قبیل خاکها از نظر وضعیت ساختمان ضعیف می‌باشند. لایه سطحی بعضی از خاکهای غیر شور و سدیمی فاقد کربنات کلسیم است و بدین دلیل بعضاً نیز مقدار pH محلول خاک طبقه سطحی آن کمتر از هفت می‌باشد. بدین دلیل مقادیر قابل ملاحظه‌ای یون هیدروژن قابل تعویض و به صورت جذبی در هم‌تافت تبادلی خاک وجود دارد.

- خاک شور و سدیمی^۶: به خاکی گفته می‌شود که در آن میزان هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (EC_e) در ۲۵ درجه سانتیگراد بیشتر از چهار دسی‌زیمنس بر متر (dS/m) و درصد سدیم تبادلی (ESP) آن بیشتر از ۱۵ باشد. pH این قبیل خاکها به ندرت از ۸/۵ بیشتر است و اکثراً در حد واکنش خنثی (هفت) می‌باشد. یون سدیم (Na^+)

1- U.S. Salinity Laboratory

2- Richards

3- Electrical Conductivity of Soil Extract.

4- Saline Soils

5- None Saline - Sodic Soils

6- Saline - Sodic Soils

موجود در محلول خاک، عمدتاً به صورت املاح خنثی از قبیل کلرور سدیم (NaCl) و سولفات سدیم (Na_2SO_4) یافت می‌شود. هرگاه میزان pH محلول خاک بزرگتر از ۸/۵ باشد، آنیونهای بی‌کربنات (HCO_3^-) و کربنات (CO_3^{2-}) در محلول خاک وجود دارند. به‌طور کلی در مقایسه با خاکهای شور، خاکهای شور و سدیمی از نظرونند اصلاحی مسأله‌دارتر می‌باشند. خلاصه مطالب بیان شده در بالا در جدول شماره (۱) ارائه شده است.

جدول شماره (۱) طبقه‌بندی کیفی خاکها از نظر کشاورزی

(مأخذ: منبع شماره ۲۲)

ویژگیهای عصاره اشباع خاک	غیر شور ^۱	شور ^۲	شور و سدیمی ^۳	غیر شور و سدیمی ^۴
شوری EC_e (dS/m)	< ۴	> ۴	> ۴	< ۴
درصد سدیم تبادل (ESP)	< ۱۵	< ۱۵	> ۱۵	> ۱۵
واکنش (pH)	< ۸/۵	< ۸/۵	< ۸/۵	> ۸/۵

۲-۲-۲ روش فرهنگستان علوم اتحاد جماهیر شوروی (سابق)

در این روش، ترکیبی از سه عامل: خاک‌زایی^۵، ژئوشیمی املاح^۶ و فیزیولوژی گیاهی در طبقه‌بندی دخالت دارند. سازمان خواربار و کشاورزی جهانی در سال ۱۹۷۵ براساس نظریه کُودا^۷، در این رابطه برای خاکهای شور و سدیمی تعاریف زیر را ارائه داده است.

- خاکهای سولونچاک^۸، خاکهای شور هستند که به میزان قابل توجهی املاح با درجه حلالیت زیاد را که گاه مقدار آن در طبقه سطحی خاک (عمق ۳/۰ متری) به ۲ درصد نیز می‌رسد، دارا می‌باشند. پوشش گیاهی این قبیل خاکها مشتمل بر گیاهان شورپسند^۹ است و گاه نیز سطح اراضی بدون هرگونه پوشش نباتی می‌باشد. در این خاکها نباتات زراعی قادر به تولید محصول نیستند. بر حسب نوع املاح، تیپ‌های مختلفی از خاکهای سولونچاک به شرح زیر مشتق شده‌اند:

- سولونچاک پفی (پف کرده)، که ملح غالب آن سولفات سدیم است، سولونچاک معدنی مرطوب یا خاکهای سباخ (لایه‌های سخت نمکی) که دارای منگنز هیگروسکوپیک و کلرور کلسیم می‌باشد، سولونچاکهای بازی (سودا)، سولونچاکهای کلروره و غیره.

1- None Saline (Normal) Soils

2- Saline Soils

3- Saline - Sodic Soils

4- None Saline - Sodic Soils

5- Pedogenesis

6- Salts Geochemistry

7- Kovda

8- Solonchak

9- Halophyte

دسته‌بندی فرعی دیگری بر حسب عمق سطح ایستابی نیز وجود دارد که از آن جمله می‌توان به سولونچاک های فعال با عمق آب زیرزمینی کم و سولونچاکهای باقی مانده^۱ با سطح ایستابی بسیار عمیق اشاره کرد.

- خاکهای شبه سولونچاک، خاکهای شوری می‌باشند که میزان املاح محلول آن در محدوده توسعه ریشه‌ها (تا عمق ۱-۱/۵ متری از سطح خاک) به ۵/۵-۱/۵ درصد (مترادف با هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک ۱۰-۴۵ دسی زیمنس بر متر) بالغ می‌گردد. عملکرد گیاهان زراعی در این قبیل خاکها کم است.

دسته‌بندی فرعی این قبیل خاکها بر حسب نوع املاح غالب موجود در نیمرخ خاک تا سطح آب زیرزمینی وجود دارد که به عنوان مثال خاکهای سولونچاک مرغزاری (علف‌زار) با سطح آب زیرزمینی کم عمق و خاکهای "شبه سولونچاک باقی مانده" با سطح ایستابی عمیق را می‌توان نام برد.

- خاکهای سولونetz^۲: این قبیل خاکها دارای مقادیر بسیار قابل ملاحظه‌ای سدیم تبادلی می‌باشند و با توجه به نقش سدیم تبادلی در تشکیل و تکوین خاک، خاکهای سولونetz دارای افق مشخصه B (طبقه‌ای که بر اثر مهاجرت ذرات رس تشکیل افق مشخصه‌ای را با ساختمان ستونی داده است) می‌باشند.

تقسیم‌بندی فرعی در خصوص خاکهای سولونetz بر حسب عمق آب زیرزمینی، چگونگی توسعه و تکامل نیمرخ خاک و نوع املاح موجود نیز رایج می‌باشد که برای جلوگیری از تطویل کلام از بیان آنها خودداری می‌گردد.

قابل ذکر است که خاکهای سولونچاک مترادف با خاکهای شور در روش آزمایشگاه شوری ایالات متحده امریکا و همسان قلیای سفید^۳ در نظام قدیم رده‌بندی خاکهای کشور امریکا و همانند سالد^۴ در رده‌بندی جدید است و به همین ترتیب خاکهای سولونetz مترادف با خاکهای غیر شور و سدیمی، قلیای سیاه^۵ و ناترارجید^۶ می‌باشد.

۳-۲-۲ روش طبقه‌بندی سازمان خواربار و کشاورزی جهانی - یونسکو

بررسی علایم ارائه شده بر روی نقشه خاکهای جهان که به وسیله سازمان خواربار و کشاورزی جهانی (FAO) با همکاری یونسکو در سالهای ۱۹۷۵ و ۱۹۸۸ منتشر شده، نشان می‌دهد که خاکهای شور و سدیمی به ترتیب تحت عناوین خاکهای سولونچاک و سولونetz طبقه‌بندی گردیده‌اند. در انجام این طبقه‌بندی تعاریف زیر مدنظر بوده است.

- خاکهای سولونچاک، خاکهای شوری هستند که دارای ویژگیهای سالد^۷ باشند به این معنی که در عمق ۳۰ سانتیمتری دارای هدایت الکتریکی عصاره اشباع بیش از ۱۵ دسی زیمنس بر متر (dS/m) در ۲۵ درجه سانتیگراد بوده و یا تا عمق ۳۰ سانتیمتری دارای هدایت الکتریکی بیش از ۴ دسی زیمنس بر متر و pH بیش از

1- Residual

2- Solonetz

3- White Alkali

4- Salids

5- Black Alkali

6- Natrargid

7- Salic

۸/۵ باشند، ضمناً افق مشخصه‌ای به غیر از هیستیک^۱، کمبیک^۲، کلسیک^۳ و یا ژپسیک^۴ نداشته باشد.

- خاکهای سولوتنز، به خاکهایی اطلاق می‌گردد که افق B آنها ناتریک^۵ (افق تجمع رس و سدیم) باشد. این لایه نوعی طبقه آرژلیک^۶ (افق تجمع رس) است که در بعضی قسمت‌ها دارای ساختمان ستونی یا منشوری بوده، و میزان درصد سدیم تبادلی (ESP) آن تا عمق ۴۰ سانتیمتر از ۱۵ بیشتر باشد.

۴-۲-۲ روش طبقه‌بندی جامع^۷ وزارت کشاورزی ایالات متحده آمریکا

این روش طبقه‌بندی را سرویس حفاظت خاک وزارت کشاورزی ایالات متحده آمریکا^۸ (SCS - USDA) در سال ۱۹۷۵ پیشنهاد کرد که تاکنون چندین بار مورد تجدید نظر قرار گرفته است. آخرین کلید راهنمای آن در سال ۱۹۹۶ منتشر گردید و قرار بود که در سالهای بعد کتاب کامل آن منتشر شود. در کلید راهنمای مزبور ویژگیهای خاک و اراضی شور و سدیمی در سطح رده‌بندی (تحت رده) معرفی گردیده‌اند. خاکهای این گروه عمدتاً در رده‌های انتی سولز^۹، اینسپتی سولز^{۱۰}، الفی سولز^{۱۱}، مولی سولز^{۱۲} و اریدی سولز^{۱۳} معرفی شده‌اند (پیوست شماره دو).

1- Histic

2- Cambic

3- Calcic

4- Gypsic

5- Natric

- افق ناتریک، به‌طور اجمال افقی است که علاوه بر دارابودن کلیه مشخصات افق آرژلیک، معمولاً دارای ساختمان ستونی بوده و مقدار درصد سدیم تبادلی آن تا عمق ۴۰ سانتیمتری بیشتر از ۱۵ درصد و یا نسبت جذب سدیم بیشتر از ۱۳ باشد.

6- Argillic

- افق آرژلیک، به‌طور خلاصه افقی ایلوویال می‌باشد که محل تجمع و انباشته شدن ذرات رس است، این لایه الزاماً بایستی در زیر یک افق آلوویال قرار گرفته باشد، هرچند ممکن است در سطح هم دیده شود (مشرط به آن که طبقه الوویال بر اثر فرسایش از بین رفته باشد). در این افق، رسهای انتقال یافته از افق فوقانی در سطح پد ۱۰ (واحد ساختمان خاک) و یا در داخل خلل و فرجها دیده می‌شوند. اگر میزان رس در افق الوویال کمتر از ۱۵ درصد باشد، مقدار رس در افق آرژلیک حداقل باید ۳ درصد از آن بیشتر باشد و در حالاتی که مقدار رس در طبقه آلوویال بین ۱۵ تا ۴۰ درصد باشد، میزان رس افق آرژلیک حداقل باید ۲۰ درصد از آن بیشتر باشد. به همین ترتیب هرگاه در طبقه آلوویال بیش از ۴۰ تا ۶۰ درصد رس وجود داشته باشد. مقدار رس در افق آرژلیک حداقل باید ۸ درصد بیشتر از آن باشد.

7- Soil Taxonomy

8- Soil Conservation Service, United State Department of Agriculture.

9- Entisols

10- Inceptisols

11- Alfisols

12- Mollisols

13- Aridisols

در روش طبقه‌بندی جامع وزارت کشاورزی ایالات متحده امریکا، مبانی تشخیص وضعیت شوری و سدیمی بودن خاکها بر پایه موارد زیر است:

- وجود افق ناتریک (افق تجمع رس و سدیم) که در حقیقت نوع ویژه‌ای از افق آرژلیک (لایه تجمع رس) است که در طبقات زیرین استقرار داشته باشد. این لایه دارای ساختمان ستونی بوده و درصد اشباع بودن آن به وسیله سدیم تبادلی بیشتر از ۱۵ درصد و یا نسبت جذب سدیم آن بیش از ۱۳ باشد. وجود یک افق ناتریک مبین سدیمی بودن خاک است.

- وجود افق سالیک (لایه تجمع املاح محلول تراز گچ)، که طبقه‌ای با ضخامت ۱۵/۰ متر یا بیشتر است که ترکیبات املاح و یا گچ در آن انباشته شده و ۹۰ روز متوالی در سال و یا در هر شش از ده سال دارای مشخصات زیر باشد.

● قابلیت هدایت الکتریکی عصاره خاک (۱:۱) خاک به آب آن بیش از ۳۰ دسی زیمنس بر متر (dS/m) بوده و حاصل ضرب (EC_e) بر حسب دسی زیمنس بر متر در ضخامت لایه بر حسب سانتی متر، ۹۰۰ و یا بیشتر باشد. وجود افق سالیک مبین شور بودن بیش از حد خاک است.

۲-۵ روش شناسایی و طبقه‌بندی خاک و اراضی در ایران

در سالهای اخیر در مطالعات جاری شناسایی و طبقه‌بندی خاک و اراضی در ایران، از روش طبقه‌بندی جامع خاک وزارت کشاورزی ایالات متحده امریکا استفاده به عمل می‌آید، لیکن به منظور رعایت هماهنگی در ارائه گزارشها جدولی نیز برای مقایسه این رده‌بندی با رده‌بندی سازمان خواربار و کشاورزی جهانی ارائه می‌گردد. از آن جا که مبانی بررسیهای اصلاح و بهسازی خاکهای شور و سدیمی بر اصول و معیارهای طبقه‌بندی خاک و اراضی برای آبیاری استوار می‌باشد، معیارهای این طبقه بندی با استفاده از نشریه شماره ۲۰۵ مؤسسه تحقیقات خاک و آب به اختصار تشریح می‌شود:

ماهلر^۱ در سال ۱۹۷۱ راهنمای طبقه‌بندی اراضی برای آبیاری (سطحی) در ایران را تدوین نمود. هدف از طبقه‌بندی مذکور، تعیین تناسب اراضی از نظر کشاورزی و آبیاری سطحی برای مناطق خشک و نیمه خشک بوده است. در راهنمای فوق عوامل و محدودیتهایی از قبیل: بافت خاک لایه سطحی، مقدار سنگریزه در سطح و عمق خاک، قابلیت نفوذ آب به خاک، عمق مؤثر خاک، میزان شوری و سدیمی بودن خاک و بالاخره نوع طبقه محدودکننده، همچنین عوارض طبیعی از جمله: پستی و بلندی، فرسایش، سیل‌گیری، وضعیت آب زیرزمینی و ... در نظر گرفته شده است.

به‌طورکلی با توجه به موارد فوق در این طبقه‌بندی، اراضی به شش کلاس (درجه) تفکیک می‌گردند که اراضی کلاس یک تا سه قابل آبیاری و کشاورزی بوده، اراضی کلاس چهار در شرایط به خصوص قابل کشت و آبیاری و بالاخره

1- Mahler

اراضی کلاس پنج در شرایط حاضر و اراضی کلاس شش به هیچ وجه قابلیت کشت و آبیاری را دارا نمی‌باشند. به جز اراضی کلاس یک که هیچ‌گونه محدودیتی از نظر زراعی و آبیاری ندارند، سایر کلاسها بر حسب نوع و یا انواع اشکالات و محدودیتهایی که دارا می‌باشند در کلاس مربوط به «تحت کلاسهای» تفکیک می‌شوند.

علائم قراردادی تحت کلاسهای اراضی که در واقع بیان‌کننده نوع یا انواع محدودیتهای می‌باشند، به شرح زیر بر روی نقشه‌های طبقه‌بندی اراضی مربوط درج می‌گردد:

- A - معرف محدودیتهای کیفی خاک از نظر شوری و سدیمی بودن.
- S - بیان‌کننده محدودیتهای مرتبط با ویژگیهای ذاتی خاک، از قبیل: بافت خاک طبقه سطحی، عمق مؤثر، قابلیت نفوذ، نفوذپذیری.
- T - نمایانگر محدودیتهای خاک از نظر عوارض طبیعی از جمله: شیب، فرسایش و افزایش (آبی و بادی)، پستی و بلندی.
- W - معرف اشکالات و محدودیتهای خاک از نظر مسایل زهکشی، بالابودن سطح سفره آب زیرزمینی (شور یا غیرشور)، خطرات سیلگیری و ماندابی بودن اراضی و غیره.

با در نظر گرفتن اهداف این نشریه، محدودیتهای کیفی خاک از نظر شوری و سدیمی بودن با تفصیل بیشتری مورد بحث قرار می‌گیرد. شایان ذکر است که در مطالعات خاک شناسی و طبقه‌بندی اراضی برای کشاورزی و آبیاری که در حال حاضر در کشور انجام می‌گیرد، محدودیتهای شوری و سدیمی بودن خاک و اراضی به ترتیب با حروف اندیس دار S و A بر روی نقشه‌های شوری و قلیائیت خاکها درج می‌شود. و اصولاً در مطالعات نیمه تفصیلی و تفصیلی نقشه‌ای مجزا به نام نقشه شوری و قلیائیت ارائه می‌گردد. حدود تغییرات کمی عوامل مزبور در کلاسهای مختلف به شرح زیر است:

- از نظر میزان شوری

- S₀ این اراضی بدون مشکل شوری هستند. در این خاکها، هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک از چهار دسی‌زیمنس به متر کمتر است.
- S₁ این اراضی دارای مشکل شوری کمی هستند و میزان هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک بین ۴ تا ۸ دسی‌زیمنس بر متر است.
- S₂ این اراضی دارای مشکل شوری نسبتاً زیادی می‌باشند به‌طوری که میزان هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک آنها بین ۸ تا ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر است.
- S₃ این اراضی، دارای مشکل شوری زیاد هستند و در آنها هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک بین ۱۶ تا ۳۲ دسی‌زیمنس بر متر است.

- S_۴ این اراضی، دارای مشکل شوری بسیار زیادی هستند به طوری که میزان هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک آنها به بیش از ۳۲ دسی زیمنس بر متر می رسد.

- از نظر میزان سدیمی بودن

- A_۰ (و یا بدون ذکر علامت) - این اراضی مشکل سدیمی بودن ندارند، به طوریکه میزان درصد سدیم تبادلی خاک (ESP) در آنها کمتر از ۱۰، واکنش کمتر از ۸/۵ و نسبت جذب سدیم^۱ (SAR) کمتر از هشت است.
- A_۱ این اراضی دارای مسأله سدیمی بودن کمی هستند به طوری که میزان درصد سدیم تبادلی خاک آنها معمولاً بین ۱۰ تا ۱۵ درصد یا نسبت جذب سدیم (SAR) آنها بین ۸ تا ۱۳ و واکنش آنها بیشتر از ۸/۵ است.
- A_۲ این قبیل اراضی دارای مشکل سدیمی بودن متوسط هستند، به نحوی که مقدار درصد سدیم تبادلی آنها بین ۱۵ تا ۳۰، واکنش آنها بین ۸/۵ تا ۹/۰ و یا نسبت جذب سدیم آنها بین ۱۳ تا ۳۰ است.
- A_۳ این اراضی دارای مشکل سدیمی بودن زیاد می باشند به طوری که میزان درصد سدیم تبادلی چنین خاکهایی بین ۳۰ تا ۵۰، واکنش آنها بین ۹/۰ تا ۹/۵ و یا نسبت جذب سدیم آنها بین ۳۰ تا ۷۰ است.
- A_۴ این قبیل اراضی با مشکل سدیمی بودن بسیار شدید مواجه اند، به نحوی که درصد سدیم تبادلی آنها بیشتر از ۵۰، واکنش خاک بیشتر از ۹/۵ و یا نسبت جذب سدیم آنها بیشتر از ۷۰ می باشد.

۶-۲-۲ روش تعیین کلاس محدودیتهای شوری و سدیمی بودن خاک

- برای تعیین کلاس شوری خاک، ابتدا هدایت الکتریکی عصاره لایه های ۰ تا ۵۰، ۵۰ تا ۱۰۰ و ۱۰۰ تا ۱۵۰ سانتیمتری نیمرخ خاک اندازه گیری و سپس بر اساس معیارهای مندرج در راهنمای پیش گفته شده (ماهلر ۱۹۷۱)، درجه شوری هر یک از لایه های فوق تعیین می شود و در نهایت با استفاده از جدول ارائه شده در راهنمای مزبور یک درجه واحد برای شوری خاک انتخاب می گردد (پیوست شماره سه).
- برای تعیین کلاس قلیائیت یا سدیمی بودن خاک، درجه بندی بر مبنای حداکثر درصد سدیم تبادلی اندازه گیری شده و یا نسبت جذب سدیم تا عمق ۷۵ سانتیمتری (یا اعماق کمتر از آن) نیمرخ خاک صورت می گیرد. در صورت عدم دسترسی به ارقام درصد سدیم تبادلی و یا نسبت جذب سدیم، می توان ارقام حداکثر pH لایه های خاک اندازه گیری شده تا عمق مذکور را به کار برد. در حالتی که عمق مؤثر خاک^۲ از ۷۵ سانتیمتر کمتر باشد، می توان حداکثر درصد سدیم تبادلی و یا نسبت جذب سدیم یا pH لایه های خاک بر روی طبقه محدودکننده را مورد استفاده قرار داد.

1- Sodium Adsorption Ratio

2- Soil Effective Depth

۳- مبانی شناخت و مسایل بهره‌برداری از خاکهای شور و سدیمی

۱-۳ وضعیت خاکهای شور و سدیمی در ایران

متن انگلیسی و ترجمه فارسی کتاب خاکهای ایران همراه با نقشه‌های مربوط به ترتیب در سالهای ۱۹۶۴ میلادی و ۱۳۴۹ شمسی تهیه و منتشر شده است. پس از آن و به رغم استمرار برنامه‌های مطالعاتی برای شناسایی خاکها و طبقه‌بندی اراضی کشور که به‌طور موضعی و مقطعی به وسیله مؤسسه خاک شناسی و حاصل خیزی خاک سابق (مؤسسه تحقیقات خاک و آب فعلی) و یا مهندسان مشاور مختلف به‌انجام رسیده است، تا زمان حاضر، ارقام و اطلاعات مکتوب و مدون همانند آنچه که در کتاب خاکهای ایران ارائه شده نه تنها در مورد خاکهای شور و سدیمی، بلکه در خصوص سایر انواع خاکهای کشور وجود ندارد.

بررسی کتاب فوق‌الذکر نشان می‌دهد که در ایران از کل ۱۶۵ میلیون هکتار اراضی سطح کشور، مساحتی در حدود ۲۳/۵ میلیون هکتار آن که معادل ۱۴/۲ درصد کل می‌باشد، به درجات مختلف با مسایل شوری، سدیمی بودن، زهدار و ماندابی بودن روبه‌رو بوده‌است. درصد بیان شده برابر با ۳۰ درصد مساحت اراضی فلاتهای کم ارتفاع و دشتهای کشور نیز می‌باشد. اجزای مساحت مذکور مشتمل است بر:

- ۷/۷ میلیون هکتار خاکهای سیروزم^۱، خاکهای شور و خاکهای رسوبی شور که به دلیل ویژگیهای ذاتی و کیفی خاکها، به‌طور نسبی به‌آسانی قابل اصلاح و بهسازی است.

- ۸/۲ میلیون هکتار خاکهای باتلاقی شور که اصلاح و بهسازی آن نیاز به بررسی و انجام تمهیدات خاص و پیچیده‌ای دارد.

- ۷/۶ میلیون هکتار لیتوسلهای^۲ آهکی متشکل از مارنهای گچی و نمکی در ناحیه بیابانی، سیروزم و خاکهای شور و قلیایی که به‌دلایل فنی و اقتصادی برای اجرای عملیات بهسازی نامناسب تشخیص داده شده است.

مسلماً با توجه به این که فرایندهای شور و قلیایی شدن خاکها، پدیده‌ای دینامیکی و دایم در حال تغییر است، کلیه این ارقام تاکنون تغییرات کلی کرده‌اند.

1- Sierozem

سیروزم خاکهای بیابانی خاکستری رنگ، خاکهایی هستند که دارای رنگ قهوه‌ای مایل به خاکستری بوده و بر روی لایه گچی و یا آهکی قرار گرفته باشند. این خاکها در مناطق معتدل تا سرد تشکیل می‌گردند.

2- Lithosol

لیتوسل خاکهایی سنگلاخی و کم عمق هستند که بر روی سنگ کف زیرین قرار گرفته‌اند. این خاکها فاقد هر نوع افق مشخصه‌ای می‌باشند.

۲-۳ علل شور و سدیمی شدن خاکها در مناطق خشک و نیمه خشک

به طور کلی در مناطق خشک و نیمه خشک، در بیشتر موارد علت اصلی تراکم املاح در نیمرخ خاکها، آب آبیاری است. نباید نادیده گرفت که مواردی نیز وجود دارد که شوری و سدیمی بودن خاکها معلول خواص شیمیایی سنگ مادری آنهاست. در خاکهایی که بدین ترتیب در مناطق فوق الذکر ایجاد شده و توسعه می یابند، به دلیل ناچیز بودن میزان نزولات آسمانی، امکانات کافی برای آبخویی طبیعی املاح از نیمرخ خاکها وجود ندارد و بدین جهت این گروه خاکها به طور ذاتی «مسأله دار» می باشند.

از نظر کاربرد و مصرف آب در کشاورزی، اراضی شور و نیز خاکهای شور و سدیمی به میزان زیادی آب آبیاری نیاز دارند. از سوی دیگر، کاربرد آب آبیاری به معنی افزایش املاح به خاک می باشد. آب آبیاری حتی در صورتی که کیفیت بسیار مطلوبی نیز داشته باشد، منبع اصلی افزایش املاح محلول به خاک است. هرگاه جلوگیری از گرایش کیفیت خاک به شوری و سدیمی شدن مورد نظر باشد، باید املاح اضافه شده به وسیله تراوشهای عمقی آب آبیاری از محدوده توسعه ریشه ها آبخویی شده به طبقات زیرین انتقال یابد. این تراوشها به نوبه خود می تواند موجبات خیزش سطح ایستابی را در مزرعه فراهم آورد و از همین رو باید به وسیله سیستم زهکشی از محدوده مورد نظر خارج گردد. یکی از عوامل مهم گرایش به شوری و سدیمی شدن خاکها در اراضی تحت آبیاری، خیز موئینه ای رطوبت در خاک است. به دلیل آن که آبهای زیرزمینی سفره اول عمده شور است، حتی میزان کم خیز موئینه ای می تواند منشأ اصلی افزایش یا تراکم املاح در محدوده توسعه ریشه گیاه باشد.

زهکشی چه به صورت طبیعی و یا مصنوعی در واقع مکمل و متمم آبیاری است. در حالی که در مناطق مرطوب، اهداف زهکشی خاک می تواند کنترل میزان آب در خاک، تهویه مطلوبتر محدوده رشد ریشه ها، افزایش دمای خاک و بالاخره افزایش قدرت بارپذیری^۱ و قابلیت انجام کار بر روی زمین^۲ خاک باشد، در اراضی تحت آبیاری مهمترین هدف از زهکشی خاک و اراضی می تواند کنترل مسایل شوری و سدیمی بودن خاکها تلقی گردد.

۳-۳ مبنای تشخیص وضعیت شوری و سدیمی بودن خاکها

ریچاردز^۳ در سال ۱۹۵۴ بر مبنای تجارب متقدمان خود، کتاب راهنمای معروفی را ارائه داد که در آن مراحل انجام آزمایشهای لازم جهت تشخیص نوع مسأله و روشهای اصلاح و بهسازی خاکهای شور و سدیمی را بیان نموده است.

1- Bearing Capacity

2- Workability

3- Richards (1954)

معیارهای کتاب مذکور بر مبنای روشها و اطلاعات موجود از منابع آب و خاک کشور ایالات متحده امریکا بوده است، و با وجودی که کاربرد آن در سطح جهانی رایج گردیده، مع الوصف استفاده مستقیم از آن راهنما، بدون تعدیل فاکتورهایی که به شرایط ویژه هر منطقه مربوط می‌گردد، خالی از اشکال نیست. استفاده از این راهنما برای سالیان متمادی در ایران نیز عمومیت داشته است.

در سمینار «مسایل شوری» که در سال ۱۹۷۰ توسط سازمان خواربار کشاورزی جهانی در بغداد برگزار گردید، کمیسیون ویژه‌ای موظف گردید که در ارتباط با مسایل شوری، سدیمی و ماندابی بودن اراضی منطقه خاورمیانه و خاور نزدیک، مسایل نمونه‌برداری و انجام تجزیه‌های ضروری را بررسی و روشهای مناسب را پیشنهاد نماید. حاصل کار اعضای کمیسیون که بعداً در پاره‌ای از کشورهای منطقه ملاک اجرا قرار گرفت، از جهاتی واقع‌گرایانه‌تر از روش ارائه شده به وسیله آزمایشگاه شوری در کشور ایالات متحده امریکا می‌باشد. در زیر فهرست نتایج کار کمیسیون یاد شده به‌طور خلاصه ذکر می‌گردد:

الف - مسأله شوری، بر مبنای هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک در ۲۵ درجه سانتیگراد مورد ارزیابی قرار گیرد.
ب - تجزیه‌های شیمیایی زیر بر روی نمونه‌های خاک و آب زیرزمینی توصیه می‌گردد:

- برای خاکهای شور، هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک، pH، کلسیم، منیزیم، سدیم، کلر، بیکربنات، کربنات، سولفات، آهک، گچ و بُر بر حسب ضرورت.

- برای خاکهای سدیمی، هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک، pH، ظرفیت کاتیونهای تبادلی، سدیم قابل تبادل، میزان آهک و گچ خاک، منیزیم تبادلی (در صورت ضرورت) و محاسبه میزان گچ مورد نیاز جهت اصلاح خاک و اراضی.

پ - اندازه‌گیریهای فیزیکی خاک، شامل: نفوذپذیری، هدایت هیدرولیک، بافت خاک، تخلخل مؤثر، عمق سفره آب زیرزمینی و بالاخره نحوه استقرار افقهای نیمرخ خاک تا عمق ۵/۰ متری از سطح خاک.

در مورد اندازه‌گیری سرعت نفوذ آب به خاک، هدایت هیدرولیک و لایه‌بندی خاک، تأکید بر انجام آزمایشهای مورد لزوم در سطح مزرعه و حتی المقدور در محل نیمرخهای شاهد خاک شناسی می‌شود. به هر حال، تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی مورد نیاز جهت تشخیص وضعیت شوری و سدیمی بودن خاکها در کتب مرجع به تفصیل ارائه شده و دستورالعملهای تشریحی لازم برای اندازه‌گیری عوامل موردنظر نیز به صورت مدون موجود می‌باشد. به هر حال در شرایط خاص، انجام تحقیقات لازم در خصوص تعدیل روشهای پیشنهادی در زمینه تجزیه‌های آزمایشگاهی توصیه شده است. فهرست و شرح اجمالی آزمایشهای متداول شیمیایی خاک در پیوست شماره چهار منعکس می‌باشد.

نخستین و مهمترین اثر سوء تراکم عمدتاً در خاک، افزایش غلظت نمکهای محلول در فاز^۱ مایع خاک است. در نتیجه این دیده، جذب آب به وسیله ریشه گیاه که مبتنی بر خاصیت اسمزی است، حتی اگر خاک دارای رطوبت کافی نیز باشد، مختل، متوقف و گاه حالت معکوس به خود می‌گیرد. علاوه بر آن، محدودی یونهای موجود در عصاره اشباع خاک از قبیل: سدیم، کلسیم و بُر برای گیاهان، مسمومیت‌های خاصی را باعث می‌گردد. تحقیقات متعدد نشان داده‌است که در اکثر اوقات، افزایش تراکم املاح محلول در خاک با فزونی یون سدیم قابل تبادل در هم‌تافت تبدیلی خاک همراه است.

- شوری خاک

آثار سوء شوری خاک بر روی رشد و نمو گیاهان زمانی ظاهر می‌گردد که تراکم املاح در محدوده رشد ریشه، بیشتر از حد تحمل گیاه باشد. شوری خاک ممکن است از سه طریق: آثار اسمزی، آثار یونهای ویژه و آثار مواد سمی بر رشد و نمو گیاهان مؤثر افتد. در جدول شماره (۲) تأثیر مقادیر مختلف شوری خاک در عملکرد محصول، غلظت عصاره اشباع و فشار اسمزی محلول خاک نشان داده شده است.

میزان عملکرد نسبی محصول را برای هر میزان شوری عصاره اشباع خاک (EC_e) می‌توان با استفاده از معادله زیر برآورد نمود:

$$Y = 100 - b(EC_e - a) \quad (4)$$

که در آن:

a - مقدار شوری خاک (EC_e) بر حسب دسی‌زیمنس بر متر، در آستانه کاهش میزان محصول،

b - درصد کاهش میزان عملکرد محصول به ازای افزایش هر واحد شوری خاک،

y - میزان نسبی محصول (بر حسب درصد از مقدار محصول وقتی خاک فاقد شوری باشد).

مقادیر a و b با استفاده از مآخذ مربوط در جدول شماره (۳) ارائه شده است. به منظور نمایش چگونگی کاربرد معادله شماره (۴) یک مثال مورد بررسی قرار می‌گیرد.

با توجه به ارقام مندرج در جدول شماره (۳)، ذرت دانه‌ای از نظر مقاومت به شوری نسبتاً حساس^۱ (MS) طبقه‌بندی می‌گردد، به‌طوری که مقادیر a و b به ترتیب معادل ۱/۷ دسی زیمنس بر متر و ۱۲ درصد به ازای هر دسی زیمنس بر متر است. بدین ترتیب ملاحظه می‌شود، در صورتی که شوری خاک در زراعت ذرت از مقدار ۱/۷ دسی زیمنس بر متر تجاوز نماید به ازای هر واحد افزایش شوری خاک (دسی زیمنس بر متر) در عصاره اشباع خاک، میزان عملکرد محصول معادل ۱۲ درصد کاهش خواهد یافت. در نتیجه در حالتی که شوری عصاره اشباع خاک معادل چهار دسی زیمنس بر متر باشد، مقدار نسبی عملکرد محصول ذرت دانه‌ای با استفاده از معادله مربوط برابر خواهد شد با:

$$Y = 100 - 12 (4 - 1/7) = 72 \text{ درصد}$$

و این بدان معنی است که در شرایطی که شوری خاک مزرعه معادل چهار دسی زیمنس بر متر در عصاره اشباع خاک باشد، تنها می‌توان ۷۲ درصد میزان عملکرد را در مقایسه با شرایط خاک بدون شوری به دست آورد. معادله شماره (۴) را به صورت زیر نیز می‌توان ارائه داد:

$$EC_e = \frac{100 + a.b - y}{b} \quad (5)$$

که در این صورت، مقدار شوری خاک (EC_e) نظیر هر میزان درصد عملکرد محصول را می‌توان برآورد نمود. در مثال قبلی، برای دست‌یابی به عملکردهای ۱۰۰، ۹۰، ۷۵ و ۵۰ درصد محصول مطلوب و متعارف، مقادیر شوری خاک (EC_e) به ترتیب معادل ۱/۷، ۲/۵، ۳/۸ و ۵/۹ دسی زیمنس بر متر محاسبه می‌شود. بر همین اساس، چنانچه هدایت الکتریکی عصاره اشباع به ۱۰ دسی زیمنس بر متر برسد، تولید محصول صفر می‌گردد.

- سدیمی بودن خاک

آثار سوء و جدی سدیم قابل تبادل خاک بر روی کاهش رشد و نمو گیاهان را می‌توان به عواملی نظیر: مسمویت گیاهی، عدم توازن مواد غذایی در گیاه و بالاخره افزایش میزان pH نسبت داد. مهمترین آثار سدیمی بودن خاک بر روی ویژگیهای فیزیکی آن ظاهر می‌شود، زیرا:

افزایش میزان سدیم قابل تعویض خاک، گسیختگی خاکدانه و در نتیجه تخریب ساختمان و به تبعیت از آن نامطلوب شدن خواص فیزیکی خاکها را در پی خواهد داشت. گسیختگی خاکدانه‌ها خود موجب کاهش میزان نفوذپذیری، اختلال در فرآیند تهویه و کاهش قابلیت نفوذ و گسترش ریشه گیاه می‌گردد. در هر حال در خاکهای سدیمی، رشد و نمو گیاهان به دلیل بدی شرایط فیزیکی دچار اختلال جدی شده و در بعضی شرایط حتی در معرض انهدام قرار می‌گیرند.

جدول شماره (۲) طبقه‌بندی اراضی شور در ارتباط با تأثیر آن در عملکرد محصول،

غلظت عصاره اشباع و فشار اسمزی محلول خاک

(مأخذ: منبع شماره ۱۴)

ردیف	هدایت الکتریکی عصاره اشباع - EC_e (dS/m)	تأثیر شوری خاک در عملکرد محصول	غلظت عصاره اشباع خاک (نرمال)	فشار اسمزی محلول خاک (اتمسفیر)	نام توصیفی خاکها
۱	۰	ناچیز	۰	۰	غیر شور
۲	۲	عملکرد گیاهان حساس کاهش می‌یابد.	۰/۰۲	۱	کمی شور
۳	۴	محصول بسیاری از گیاهان کاهش می‌یابد.	۰/۰۴	۲	نسبتاً شور
۴	۸	فقط گیاهان مقاوم محصول می‌دهند.	۰/۰۸	۴	خیلی شور
۵	۱۶	تنه‌انباتات بسیار مقاوم محصول می‌دهند.	۰/۱۶	۸	فوق‌العاده شور

جدول شماره (۳) حد تحمل گیاهان به عنوان تابعی از هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک، مقدار

محصول نسبی (بر حسب درصد) برای کاربرد در معادله شماره (۴)

(مأخذ: منابع شماره ۱۲ و ۱۳)

ردیف	گیاه ^۱	مقدار شوری در آستانه ^۲ کاهش محصول (a) (dS/m)	درصد کاهش محصول به ازای هر واحد افزایش شوری پس از آستانه ^۳ کاهش (b)	طبقه‌بندی گیاه از نظر تحمل شوری
۱	یونجه	۲/۰	۷/۳	MS
۲	بادام	۱/۵	۱/۹	S
۳	زردآلو	۱/۶	۲۴/۰	S
۴	جو علوفه‌ای	۶/۰	۷/۱	MT
۵	جو دانه‌ای	۸/۰	۵/۰	T
۶	لوبیا	۱/۰	۱۹/۰	S
۷	چغندر	۴/۰	۹/۰	MT
۸	کلم	۱/۸	۹/۷	MS
۹	هویج	۱/۰	۱۴/۰	S

۱- پسته، انار، انجیر و رونس از گیاهان مقاوم به شوری می‌باشند که مقدار شوری در آستانه کاهش محصول و درصد

کاهش محصول در هر واحد افزایش شوری، در دسترس نمی‌باشد.

ادامه جدول شماره (۳)

ردیف	گیاه	مقدار شوری در آستانهٔ کاهش محصول (a) (dS/m)	درصد کاهش محصول به ازای هر واحد افزایش شوری پس از آستانهٔ کاهش (b)	طبقه بندی گیاه از نظر تحمل شوری
۱۰	شبدر	۱/۵	۱۲/۰	MS
۱۱	شبدر برسیم	۱/۵	۵/۷	MS
۱۲	ذرت علوفه ای	۱/۸	۷/۴	MS
۱۳	ذرت دانه ای	۱/۷	۱۲/۰	MS
۱۴	پنبه	۷/۷	۵/۲	T
۱۵	خیار	۲/۵	۱۳/۰	MS
۱۶	خرما	۴/۰	۳/۶	T
۱۷	کتان	۱/۷	۱۲/۰	MS
۱۸	انگور	۱/۵	۹/۶	MS
۱۹	گریپ فروت	۱/۸	۱۶/۰	S
۲۰	کاهو	۱/۳	۱۳/۰	MS
۲۱	پیاز	۱/۲	۱۶/۰	S
۲۲	پرتقال	۱/۷	۱۶/۰	S
۲۳	هلو	۱/۷	۲۱/۰	S
۲۴	بادام زمینی	۳/۲	۲۹/۰	MS
۲۵	فلفل	۱/۵	۱۴/۰	MS
۲۶	آلو	۱/۵	۱۸/۰	S
۲۷	سیب زمینی	۱/۷	۱۲/۰	MS
۲۸	تریچه	۱/۲	۱۳/۰	MS
۲۹	شالی (برنج)	۳/۰	۱۲/۰	MS
۳۰	سوژا	۵/۰	۲۰/۰	MT
۳۱	اسفناج	۲/۰	۷/۶	MS
۳۲	چغندر قند	۷/۰	۵/۹	T
۳۳	نیشکر	۱/۷	۵/۹	MS
۳۴	گوجه فرنگی	۲/۵	۹/۹	MS
۳۵	گندم	۶/۰	۷/۱	MT
۳۶	ذرت شیرین	۱/۷	۱۲/۰	MS
۳۷	توت فرنگی	۱/۰	۳۳/۰	S

S = حساس MT = نسبتاً مقاوم MS = نسبتاً حساس T = مقاوم

به طوری که در مباحث قبلی اشاره شد، در اکثر مواقع افزایش تراکم املاح در خاک با فزونی یون سدیم در همتافت تبدیلی خاک همراه است. به عبارت دیگر درصد سدیم تبدیلی خاک (ESP) نمایانگر درجه اشباع بودن همتافت تبدیلی خاک به وسیله یونهای سدیم است. میزان درصد سدیم تبدیلی خاک را می توان به روشهای زیر محاسبه و یا برآورد نمود:

$$ESP = \frac{Ex.Na^+}{CEC} \times 100 \quad (6)$$

که در آن :

ESP - درصد سدیم تبدیلی خاک.

$Ex.Na^+$ - سدیم تبدیلی (قابل تعویض) خاک (میلی اکی والان در یکصد گرم خاک خشک).

CEC - ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (میلی اکی والان در یکصد گرم خاک خشک).

معیار دیگری که برای نشان دادن شدت سدیمی بودن خاک به کار برده می شود نسبت جذب سدیم (SAR) است که به شرح زیر تعریف می گردد:

$$SAR = \frac{Na^+}{[(Ca^{2+} + Mg^{2+})/2]^{0.5}} = Na^+ [^{0.5} (Ca^{2+} + Mg^{2+})]^{-0.5} \quad (7)$$

که در آن :

Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} - کاتیونهای محلول عصاره اشباع خاک بر حسب میلی اکی والان در لیتر،

SAR - نسبت جذب سدیم بر حسب میلی اکی والان در لیتر به توان $\frac{1}{4}$ است (ریشه دوم).

شاخص دیگری که نشان دهنده نسبت میزان سدیم قابل تبادل به سایر کاتیونهای غالب و قابل تبادل می باشد با معیار نسبت سدیم تبدیلی¹ (ESR) تعریف می شود.

$$ESR = \frac{Ex.Na^+}{Ex (Ca^{2+} + Mg^{2+})} = \frac{Ex.Na^+}{CEC - Ex.Na^+} \quad (8)$$

که در آن :

ESR - نسبت سدیم قابل تبادل خاک.

$Ex.Na^+$, $Ex (Ca^{2+} + Mg^{2+})$, CEC - به ترتیب سدیم قابل تبادل، مجموع کلسیم و منیزیم قابل تبادل و

ظرفیت تبادل کاتیونی خاک است.

کلیه عوامل فوق بر حسب میلی اکی والان در یکصد گرم خاک خشک بیان می گردند.

1- Exchangeable Sodium Ratio

هرگاه ظرفیت تبادل کاتیونی خاک مساوی یکصد در نظر گرفته شود، رابطه زیر نیز صادق خواهد بود:

$$ESR = \frac{Ex.Na^+}{Ex (Ca^{2+} + Mg^{2+})} = \frac{Ex.Na^+}{(CEC - Ex.Na^+)} = \frac{ESP}{100 - ESP} \quad (9)$$

به همین ترتیب معادلات زیر را نیز می توان ارائه نمود:

$$ESR = \frac{ESP}{100 - ESP} = K.SAR \quad (10)$$

و یا

$$ESP = \frac{100 (K.SAR)}{1 + (K.SAR)} \quad (11)$$

که در آن :

K ، ضریب انتخابی و تعدیل شده گاپون^۱ می باشد و مقدار آن تقریباً برابر با ۰/۰۱۵ میلی اکوی والان در لیتر به توان^{۱/۴}- است.

اگر اندازه گیریها و اطلاعات کافی وجود داشته باشد، مقدار درصد سدیم تبادلی (ESP) را می توان از مقادیر نسبت جذب سدیم (SAR) و از طریق اعمال همبستگی خطی بر روی ارقام اندازه گیری شده برآورد نمود. آزمایشگاه شوری خاک کشور ایالات متحده امریکا معادله تجربی زیر را برای برآورد مقدار ESP از SAR ارائه داده است:

$$ESR = A.SAR + B \quad (12)$$

$$ESP = \frac{100 (A.SAR + B)}{1 + (A.SAR + B)} \quad (13)$$

که در آن A, B ضرایب رگرسیون خطی هستند.

بر اساس آزمایشهای متعددی که در آزمایشگاه شوری خاک کشور ایالات متحده به عمل آمده، مقادیر $A = 0.1475$ و $B = -0.126$ حاصل شده است. با قرار دادن این مقادیر در معادله بالا، رابطه تجربی برآورد (ESP) از (SAR) به شرح زیر حاصل می گردد:

$$ESP = \frac{100 (0.1475 \times SAR - 0.126)}{1 + (0.1475 \times SAR - 0.126)} \quad (14)$$

که در آن علایم به کار رفته معانی پیشین را دارا می باشند.

1- Gapon Modified Selectivity Coefficient

در خاکهای با درصد سدیم تبادلی بیشتر از ۱۵ که حاوی ذرات رس قابل انبساط باشد، تخریب ویژگیهای فیزیکی خاکها مشهودتر است. معمولاً این پدیده در شرایطی حاصل می‌شود که مقدار سدیم تبادلی (قابل تعویض) خاک از سه میلی‌اکی‌والنت در یکصدگرم خاک خشک تجاوز نماید.

به‌طور کلی شدت نامطلوبی خصوصیات فیزیکی خاکها با افزایش میزان سدیم تبادلی، فزونی می‌یابد. همچنین به ازای یک میزان معین آن، بدتر شدن خواص فیزیکی خاکهایی که دارای رسهای متبسط‌شونده باشند (کانیهای رس با نسبت ۲:۱، در مقایسه با انواع غیر قابل انبساط یا انواع کانیهای مختلط) بیشتر خواهد بود.

علاوه بر آثار سوء و نامطلوب سدیمی شدن خاکها بر روی ویژگیهای فیزیکی خاک (تخریب ساختمان، گسیختگی خاکدانه، نامناسب شدن تهویه و بالاخره کاهش نفوذ و تحرک آب در خاک)، پاره‌ای گیاهان زراعی نسبت به درصد سدیم تبادلی خاک نیز حساس بوده، رشد، نمو و عملکرد آنها کاهش می‌یابد.

۴- اصلاح و بهسازی خاکهای شور و سدیمی

۴-۱ کلیات

زابلوکس^۱ اعلام می‌دارد که در قاره آسیا، پس از کشورهای اتحاد جماهیر شوروی سابق، چین، هندوستان و پاکستان، بیشترین گسترش سطوح خاکهای شور، شور و سدیمی در ایران مشاهده می‌شود.

شرایط اقلیمی خاص این سرزمین، موجبات تشکیل و توسعه خاکهای مذکور را به میزان قابل ملاحظه و با پراکنش غیریکنواخت در اکثر نقاط کشور فراهم آورده است. خاکهای شور و سدیمی غالباً در مناطق خشک و نیمه خشک کشور پراکنده می‌باشند. این قبیل اراضی یا از نظر وضعیت زهکشی طبیعی ضعیف بوده و یا تحت چنین شرایطی تکوین و توسعه یافته‌اند.

خاکهای شور ایران محتوی مقادیر قابل ملاحظه‌ای املاح محلول هستند. این خاکها معمولاً به رنگ روشن بوده، از نظر مواد آلی فقیر و دارای سطوحی نسبتاً سخت با ساختمان دانه‌ای و شکننده می‌باشند، در حالی که خاکهای سدیمی کشور، حاصل آبشویی ناقص املاح محلول نیمرخ خاک است. گرایش این خاکها به سمت سدیمی‌شدن، متأثر از شوری و به دلیل عدم اعمال مدیریت آبیاری در خاکهای با زهکشی ضعیف است.

1- Szabals (1989)

نوع املاح را در خاکهای مذکور در درجه نخست عمدتاً کلرورها و پس از آن سولفاتها تشکیل می‌دهند. سولفاتها به میزان قابل ملاحظه‌ای به شکل سولفات سدیم در خاکهای شور و سولفات کلسیم در خاکهای گچی یافت می‌شوند.

خاکهای سدیمی (سدیک^۱) معمولاً به صورت لکه‌های پراکنده در اراضی شور و یا در سایر انواع خاکها یافت می‌شوند. این خاکها در اراضی فاقد مواد آلی دارای افقی سطحی به رنگ تقریباً روشن هستند که املاح محلول آن آبشویی شده و بر روی طبقه تیره رنگتری استقرار یافته‌اند. مواد آلی خاکهای سدیمی، تحت تأثیر سدیم، به شدت انتشار پیدا می‌کند و سطح ذرات خاک را می‌پوشاند و در نتیجه منجر به ایجاد رنگ تیره در سطح خاک می‌گردد. از این رو این‌گونه خاکها را در گذشته «خاکهای قلیایی سیاه»^۲ می‌نامیدند.

مروری بر تجارب موجود در کشور نشان می‌دهد که خاکهای شور و سدیمی ایران به‌طور گسترده‌ای در جلگه‌ها و دشتهای رسوبی و عمدتاً در دشتهای آبرفتی رودخانه‌ها پراکنده هستند. در این واحد فیزیوگرافی، انواع گروههای بزرگ خاکها نیز یافت می‌شوند.

به‌طور کلی بافت لایه سطحی خاکهای شور ممکن است، غالباً از لوم سیلت‌دار تا لوم رسی و رسی تغییر نماید، لیکن افق زیرین این قبیل خاکها اکثراً از نوعی رس سنگین، دانه ریز و چسبنده تشکیل یافته است. از مشخصه‌های بارز دیگر این نوع خاکها، وجود قشر نمکی مشخصی در لایه سطحی و تغییر ساختمان خاک لایه زیرین آن به دانه‌ای است.

میزان مجموع املاح محلول خاکهای شور کشور حدوداً بیش از ۳ درصد کل حجم مواد جامد خاک گزارش گردیده است. به دلیل آهکی بودن منشأ این خاکها، مقدار pH آنان غالباً بین ۸-۸/۵ متغیر است.

خاکهای سدیمی عموماً دارای ساختمان منشوری و یا ستونی بوده و میزان مجموع املاح محلول عصاره اشباع آنها از خاکهای شور کمتر است. مقدار رس طبقه سطحی خاکهای سدیمی ایران زیاد و حتی گاه میزان آن به ۶۰ درصد نیز می‌رسد، در حالی که میزان مواد آلی هر دو نوع خاکهای شور و سدیمی بسیار ناچیز است. همانند خاکهای شور، خاکهای سدیمی ایران منشأ آهکی داشته، لیکن مقدار کربنات کلسیم لایه فوقانی آنها از خاکهای شور کمتر گزارش شده است.

به‌طور کلی، از نقطه نظر اقتصادی انجام فعالیتهای کشاورزی برای تولید محصولات زراعی در اراضی شور، شور و سدیمی، که در اکثر حالات با شرایط زهدار و ماندابی بودن نیز همراه می‌باشد، احتیاج به رعایت موارد خاص و تمهیدات پیچیده‌ای دارد که با روشهای بهره‌برداری از منابع خاک و آب مناسب متفاوت است.

بدیهی است هرگونه سرمایه گذاری در جهت توسعه کشاورزی در اراضی شور و سدیمی در گرو احداث شبکه زهکشی زیرزمینی و روباز و اجرای برنامه اصلاح خاک به منظور بهبود شرایط فیزیکی - شیمیایی خاک می باشد. حصول نتایج مطلوب در برنامه های اصلاح و بهسازی خاک و اراضی در کشور، مستلزم فراهم بودن شرایط زیر است:

- منابع کافی آب برای آبیروی مقدماتی املاح محلول خاک و استمرار آبیاری باید فراهم باشد.
- کیفیت آب آبیاری باید مناسب باشد، در غیر این صورت حصول نتیجه مطلوب خالی از اشکال نخواهد بود.
- امکان نفوذ آب از سطح خاک به طبقات پایین وجود داشته باشد و شرایط تخلیه زه آب حاصله چه به طریق طبیعی و یا مصنوعی میسر گردد.

علاوه بر موارد فوق چنانچه شرایط زیر نیز حاصل شود، نتایج مطلوبتری از اجرای عملیات اصلاح خاک و اراضی به دست خواهد آمد:

- وضعیت توپوگرافی اراضی محدوده مورد نظر باید برای اجرای عملیات آبیروی و خارج نمودن زه آبهای حاصل از زهکشی اراضی مناسب باشد.
- امکان اصلاح خاکها از طریق کاربرد آب آبیروی به تنهایی مقدور باشد، در غیر این صورت گرایش به سمت سدیمی شدن و تخریب خواص فیزیکی خاکها محتمل می باشد. کاربرد مواد اصلاح کننده (بهساز) و عملیات اجرایی ویژه بهسازی خاکهای سدیمی پرهزینه است.

۲-۴ اصلاح و بهسازی خاکهای شور

باتوجه به ویژگیهای فیزیکی - شیمیایی که قبلاً از خاکهای شور بیان شد، نتیجه می شود که در صورت آبیروی املاح متراکم شده در محدوده رشد ریشه ها، اصلاح این قبیل خاکها در شرایط عادی امکان پذیر است، مگر آن که شرایط زهکشی طبیعی خاکها بسیار نامناسب باشد.

بدون ایجاد امکانات زهکشی، آبیروی املاح و اجرای عملیات بهسازی شرایط فیزیکی خاک احتیاج به رعایت نکات خاصی دارد که کاربرد آن عمومیت نخواهد داشت. این موارد متعاقباً در همین مبحث مورد بحث قرار خواهد گرفت. از طرف دیگر با در نظر داشتن این نکته که بدون ایجاد امکانات زهکشی، املاح محلولی که از لایه های سطحی شسته و در لایه های زیرین نیمرخ خاک متراکم شده است، سرانجام به طبقات سطحی رجعت خواهد نمود، می توان نتیجه گرفت که در شرایط اقلیم خاص نظیر ایران، آبیروی املاح محلول از نیمرخ خاک بدون احداث شبکه زهکشی عمل بیهوده ای است.

در اراضی شور به علت بالا بودن غلظت املاح در فاز محلول خاک، به طور معمول ساختمان خاکها غیر گسیخته و منعقد است و در نتیجه، هدایت هیدرولیک آنها برابر و یا بیشتر از خاکهای مشابه غیر شور است. در اکثر حالات اصلاح چنین خاکهایی از طریق آبشویی، مشروط به احداث سیستم زهکشی، عملی و میسر است؛ ولی در طی مراحل آبشویی باید دقت زیادی در جهت جلوگیری از تخریب ساختمان خاک به عمل آورد. به طور معمول در طی دوره آبشویی، می توان نسبت به کشت نباتاتی از قبیل یونجه یا شبدر به عنوان کود سبز نیز اقدام نمود.

با ملاحظه آنچه تاکنون بیان گردید، نتیجه می شود که آبشویی املاح در شرایط خاکهای شور با این که انهدام ساختمان خاک و کاهش زیاد نفوذپذیری را در پی نخواهد داشت، لیکن دارای بعضی آثار سوء می باشد که از جمله مهمترین آنها، شسته شدن مواد مغذی محلول در فاز مایع خاک از قبیل ازت و پتاسیم را می توان برشمرد. از این نظر لازم است تا پس از آبشویی نسبت به ترمیم مواد غذایی شسته شده و تقویت قدرت باروری خاک اقدام شود.

برای آبشویی املاح و اصلاح خاکهای شور، بهتر است که ابتدا املاح موجود در عمقی متعارف از نیمرخ خاک به حدی کاهش داده شود که امکان رشد و نمو گیاهان مقاوم به شوری در آن فراهم گردد، و سپس ادامه عملیات آبشویی را تا زمانی که شوری خاک به حد مطلوب برسد، همزمان با آبیاری و از طریق نفوذ عمقی آب آبیاری و یا حتی کاربرد مقادیری آب اضافی در آبیاری مزرعه، به انجام رسانید. برای انجام عملیات آبشویی املاح، تسطیح موضعی اراضی به نحوی که بتوان آب را به طور یکنواخت و با عمق معین بر سطح اراضی توزیع نمود، مورد نیاز می باشد.

مسئله دیگری که توجه به آن دارای اهمیت است، موضوع روش آبشویی است. برای انتخاب روش آبشویی، علاوه بر شرایط اجتماعی و اقتصادی منطقه باید به منابع آب در دسترس و طول دوره زمانی برنامه آبشویی توجه نمود. دو عامل اخیر به ویژه برای تعیین روش و برنامه آبشویی (روشهای آبشویی غرقاب متناوب و یا غرقاب دائم) بسیار مهم تلقی می گردد. بررسیهای انجام یافته نشان داده است که به طور کلی نتایج حاصل از روش آبشویی غرقاب متناوب نسبت به روش غرقاب دائم ارجح است. روشهای مختلف آبشویی به شرح زیر می باشند:

- آبشویی به روش غرقاب دائم

در این روش، کلیه آب مورد نیاز برای آبشویی املاح محلول از نیمرخ خاک، به طور پیوسته به خاک داده می شود. در عمل برای نیل به چنین هدفی کرتیهای با پشته های مستحکم تهیه می گردد و آب مورد نیاز وارد آن کرتیها می شود تا به تدریج در خاک نفوذ نموده و موجب انتقال املاح از عمق مورد نظر گردد. در زمینهای نفوذپذیر این روش آبشویی در دوره زمانی کوتاه و با حداقل هزینه انجام می گیرد.

در این روش، بازده آبشویی، به ویژه وقتی که در زمینهای اشباع و یا مرطوب به کار گرفته شود، کمتر از روشهای دیگر است. در این شیوه لازم است، پیش از اقدام به آبشویی، زمین را تسطیح موضعی نموده و در صورتی که نفوذپذیری خاک کم باشد، زمین را شخم عمیق زده و یا زیرکشی خاک^۱ نمود. بهتر است که آبشویی در شرایطی اجرا شود که رطوبت خاک کم و آب زیر زمینی در پایین ترین وضعیت خود باشد.

در این روش نفوذپذیری، مقدار رطوبت و شوری اولیه لایه های خاک بیشتر از هر عامل دیگری تغییرات آبشویی را کنترل می نماید. در خاکهای سرشار از رس که دارای نفوذپذیری کمی نیز باشد، بهتر است که توأم با آبشویی، گیاهانی مانند برنج نیز کشت شود.

- آبشویی به روش غرقاب متناوب

در این روش، کل مقدار آبی که باید به منظور آبشویی املاح به کار رود، در چند نوبت و به طور متناوب به خاک داده می شود. این شیوه به ویژه در خاکهایی که مجهز به سیستم زهکشهای زیرزمینی می باشند، مفید و مؤثر خواهد بود. بهتر آن است که پس از نفوذ یک مقدار از آب کاربردی، اجازه داده شود تا سطح آب زیرزمینی کاملاً افت نماید و پس از آن نوبت بعدی آب آبشویی به کار گرفته شود. در این صورت، بازده آبشویی بسیار افزایش خواهد یافت. توأم نمودن کاربرد مالچ سطحی با برنامه آبشویی به طریق غرقاب متناوب در شرایطی که سطح آب زیرزمینی بالا و میزان نفوذپذیری خاک کم و زهکشی طبیعی خاک اندک باشد می تواند بسیار مفید واقع شود. در زمینهایی که بافت خاک لایه های سطحی آن سنگین است، اعمال شخم عمیق قبل از کاربرد متناوب آب آبشویی می تواند نتایج مطلوبتری را در بر داشته باشد. پیش نیاز اجرای این روش آبشویی، تسطیح اراضی است.

- آبشویی به روش آبیاری بارانی

این روش زمانی قابل توصیه است که عملیات آماده سازی زمین برای اجرای عملیات به روش غرقاب پرهزینه باشد. این شیوه دارای بازده بسیار بالایی است، مگر در شرایطی که درجه حرارت و تبخیر در منطقه بسیار بالا باشد. همچنین وزش بادهای تند بر عملکرد این روش تأثیر می گذارد.

کاربرد این روش در زمینهای ناهموار که دارای بافت متوسط تا سبک است نتیجه بسیار مطلوبی را عاید می نماید. همچنین در شرایطی که مقدار آب لازم جهت آبشویی کم و یا آبشویی به روشهای غرقابی برای جلوگیری از خیزش شدید آب زیرزمینی منع شده باشد، می توان این شیوه را به کار گرفت.

1- Sub Soiling

- آیشویی املاح محلول نیمرخ خاک بدون وجود سیستم زهکشی زیرزمینی (عمقی)

آیشویی زمینهایی که فاقد سیستم زهکشی زیرزمینی است، تنها هنگامی می تواند مؤثر باشد که سطح ایستابی مزرعه به اندازه کافی عمیق بوده و مقدار نیاز آیشویی بالنسبه کم باشد. بنابراین آیشویی بدون سیستم زهکشی، نیازمند شرایط خاصی می باشد، نکته مهمی که رعایت آن الزامی می نماید این است که مقدار آب کاربردی نباید سطح ایستابی را به ویژه در فصل خشک و گرم تا حد بحرانی بالا آورد. بنابراین در چنین شرایطی لازم است آیشویی در زمانی اعمال گردد که سطح ایستابی در پایین ترین وضعیت خود باشد. (این دوره معمولاً در پاییز است).

نکته دیگر آن که عمق آب آیشویی باید با توجه به عمق مورد نظر برای آیشویی و ویژگیهای فیزیکی خاک از جمله درصد تخلخل قابل زهکشی محاسبه و به کار گرفته شود. هرگاه میزان شوری خاک در حدی باشد که مقدار آب کاربردی مجاز به منظور شوری زدایی یکباره آن کفایت ننماید، ضرورت دارد که عملیات آیشویی به طور متوالی و طی دو یا سه فصل به انجام رسد. آیشویی یکباره این قبیل اراضی در شرایطی امکان پذیر است که درصد کاربری زراعی اراضی کم بوده (۲۰-۳۰ درصد تحت کشت و بقیه اراضی تحت آیش) و مقدار آب لازم برای آیشویی زمینهایی که به صورت نکاشت باقی مانده اند وجود داشته باشد.

از آن جا که در این حالت آیشویی، الزاماً باید ظرفیت رطوبتی خاک لایه های سطحی و زیر سطحی مزرعه را ملاک محاسبه و کاربرد آب آیشویی قرار داد و از طرفی به دلیل این که چنین ظرفیت رطوبتی در اکثر خاکهای این گونه زمینها نمی تواند زیاد باشد، بدین دلیل این روش آیشویی برای شوری زدایی و سدیم زدایی خاکهای بسیار شور کمتر مؤثر است.

برای تعیین میزان آب آیشویی مجاز در مناطقی که مجهز به سیستم زهکشی زیرزمینی نمی باشد معادله زیر پیشنهاد شده است :

$$N = M - m + \frac{H - h}{Z} \times 10000 \quad (15)$$

که در آن :

N - مقدار آب آیشویی لازم، بر حسب متر مکعب بر هکتار،

M - حد ظرفیت رطوبتی لایه ای که آیشویی آن مدنظر است، بر حسب متر مکعب بر هکتار،

m - آب ذخیره شده در لایه ای که آیشویی آن مورد نظر می باشد (قبل از آیشویی املاح)، بر حسب متر مکعب بر هکتار

H - عمق سطح ایستابی قبل از اجرای برنامه آیشویی، بر حسب متر،

h - حد مجاز سطح ایستابی بعد از اجرای برنامه آبخویی، برحسب متر، و

Z - نسبت بین خیز سطح ایستابی (H-h) و عمق آب کاربردی (عکس آبدهی ویژه یا ضریب ذخیره).

ظرفیت رطوبتی (آزاد یا قابل زهکشی) خاکهای سطحی و زیر سطحی با عمق سطح ایستابی اولیه ۲/۴-۳ متر و ۱/۵-۲ متر به ترتیب مترادف با ۲۷۰۰-۳۲۰۰ و ۱۶۰۰-۳۲۰۰ متر مکعب بر هکتار برآورد می شود. این بدان معنی است که برای اجرای برنامه آبخویی در شرایط بدون سیستم زهکشی زیرزمینی تنها می توان ۱۶۰۰-۳۲۰۰ متر مکعب بر هکتار آب آبخویی به کار برد که این میزان عمق آب کاربردی برای آبخویی املاح اولیه خاکهایی که شوری کمی دارند می تواند مؤثر باشد.

۳-۴ اصلاح و بهسازی خاکهای شور و سدیمی

با توجه به خصوصیتی که قبلاً از خاکهای شور و سدیمی بیان شد، باید اذعان کرد که اصلاح و بهسازی این قبیل خاکها در مقایسه با خاکهای شور، از نظر فنی دشوارتر بوده و احتیاج به اعمال اقدامات خاص دارد. خواص فیزیکی این خاکها، قبل از اقدام به آبخویی، با خاکهای شور تقریباً مشابهت دارد؛ لیکن به محض آن که بخش قابل ملاحظه‌ای از املاح محلول و متراکم شده از نیمرخ خاک خارج شود، آثار سوء سدیم تبادلی در اکثر حالات نمودار شده و موجبات گسیختگی خاکدانه‌ها و تخریب ساختمان خاک را در حین عملیات آبخویی فراهم می آورد.

به بیانی دیگر، تا زمانی که املاح موجود در فاز محلول خاک بالنسبه قابل توجه باشد، ویژگیهای این قبیل اراضی همانند خاکهای شور است، یعنی pH عصاره اشباع خاک به ندرت بیشتر از ۸/۵ و ساختمان خاک غیرگسیخته می باشد. با آبخویی و انتقال املاح خاک طبقات سطحی به لایه‌های زیرین، ممکن است ویژگیهای آن به نحو قابل ملاحظه‌ای نامطلوب گردد، زیرا بر اثر آبخویی، مقادیری از سدیم قابل تبادل ممکن است، آبکافت گردیده و تولید هیدرواکسید سدیم نماید، که ماده فوق‌الذکر با جذب گاز کربنیک از جو و ترکیب با آن، موجب تشکیل بیکربنات سدیم شود و در نتیجه موجب افزایش میزان قلیائیت و بالارفتن اسیدیته خاک به مقدار بیش از ۸/۵ گردد، که در چنین شرایطی ضمن گسیختگی خاکدانه‌ها، هدایت هیدرولیک خاک ممکن است به صفر نیز برسد.

همان گونه که در مورد اصلاح و بهسازی خاکهای شور نیز به آن اشاره و بر لزوم توجه به آن تأکید گردیده، پیش نیاز اصلاح و بهسازی خاکهای شور و سدیمی، کنترل و تعمیق سطح ایستابی می باشد. لازم به تذکر است، در حالاتی که آب کاربردی برای آبخویی املاح، حاوی مقادیر قابل توجهی کاتیونهای دو ظرفیتی کلسیم باشد، امکان کاهش تخریب ساختمان خاک و عدم گسیختگی خاکدانه‌ها نیز وجود خواهد داشت.

در ارتباط با کیفیت مناسب آب آبخویی برای این قبیل اراضی، تجربه نشان داده است که کاربرد آبهای شور و لب شور در مراحل اولیه (آبخویی مقدماتی) و سپس استمرار آبخویی املاح خاک با استفاده از آبهایی با کیفیت مطلوب و مناسب، از تخریب شدید ساختمان و کاهش نفوذپذیری آن تا حدودی ممانعت به عمل خواهد آورد.

در خاکهای شور و سدیمی که حتی قبل از انجام آبخویی مقدماتی، ساختمان بسیار نامناسبی دارند، زراعت برنج به عنوان گیاه پیشاهنگ اصلاح چنین خاکهایی توصیه شده است؛ زیرا بر اثر فعالیت ریشه‌های گیاه، تولید گاز کربنیک در شرایط استغراق زراعت برنج، موجبات افزایش فشار گاز مزبور را فراهم می‌آورد، که در نتیجه آن، حلالیت کربنات کلسیم خاک (مشروط به وجود در آن نیمرخ خاک) فزونی یافته، در نتیجه، امکان جایگزینی زیادتر یون کلسیم با یون سدیم، در چنین شرایطی، فراهم می‌آید. این مطلب در تحقیقات انجام شده در پاره‌ای از کشورها از جمله شرایط خاکهای ایران نیز تأیید شده است.

اجمالاً این که، مستغرق نمودن سطح این قبیل اراضی در طول المدت موجب خواهد شد تا مقادیری از املاح محلول و متراکم طبقات سطحی خاک بر اثر عمل پخشیدگی از طریق اختلاط املاح محلول لایه‌های سطحی خاک با آب نگهداری شده بر روی سطح اراضی کاهش یابد.

۴-۴ مواد شیمیایی بهساز (اصلاح‌کننده) خاکهای سدیمی، شور و سدیمی

یکی از انواع متداول مواد اصلاح‌کننده یا بهساز خاکها که تجارب متعددی نیز در مورد کاربرد آن وجود دارد، گچ^۱ است. این ماده اصلاح‌کننده برای خاکهایی که ضرورت مصرف آن مورد تأیید باشد، می‌تواند متضمن بقای ساختمان خاک و جلوگیری از تخریب آتی آن باشد. گچ را می‌توان از طریق آب آبیاری و یا پخش مستقیم در سطح مزرعه به کار برد. در خصوص کاربرد گچ به عنوان ماده اصلاح‌کننده خاک، توجه به نکات زیر ضروری است.

- در خصوص کاربرد بیش از اندازه گچ (بیشتر از آن میزانی که بتواند به وسیله آب کاربردی به فرم محلول درآید) مزیتی مشاهده نگردیده است. به تجربه ثابت شده که نباید کل میزان گچ مورد نیاز را به یک باره به کار برد. بنابراین لازم است در ابتدا مقادیری از آن که می‌تواند به وسیله آب کاربردی به صورت محلول درآمده و موجبات تسهیل در امر ورود و تحرک آب در خاک را فراهم آورد، به کار گرفت. مابقی گچ مورد نیاز برای اصلاح خاک را می‌توان پس از حصول اطمینان از تحرک آب در خاک به سطح مزرعه افزود. این عمل همراه با شروع فرایند جایگزینی یون کلسیم به جای یون سدیم تبادلی خاک نیز می‌باشد.

1- Gypsum

میزان گچ مورد نیاز اصلاح خاک را می توان با انجام آزمایشهای لازم بر روی نمونه خاک تعیین کرد. مقدار تقریبی گچ مورد نیاز را می توان با استفاده از رابطه زیر برآورد نمود:

$$X_Z = \frac{(ESP_i - ESP_f)}{100} \cdot CEC \cdot Y_Z \quad (16)$$

که در آن :

X_Z - میزان گچ مورد نیاز برای اصلاح یک هکتار زمین به عمق (Z) سانتیمتر،

ESP_i - درصد سدیم تبادلی اولیه خاک،

ESP_f - درصد سدیم تبادلی نهایی (موردنظر) خاک، این مقدار در اکثر حالات معادل ده منظور می گردد، زیرا که در این میزان درصد سدیم تبادلی، گسیختگی خاکدانه مشهود نمی باشد،

CEC - ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، میلی اکی والان در یکصد گرم خاک خشک،

Y_Z - مقدار گچ مورد نیاز برای یک هکتار زمین و برای جایگزینی یک میلی اکی والان سدیم در یکصد گرم خاک خشک و در لایه ای به ضخامت (Z) سانتیمتر با وزن مخصوص ظاهری معین.

همچنین با استفاده از معادله زیر نیز می توان مقدار گچ مورد نیاز اصلاح خاک را برآورد نمود.

$$X = \frac{(ESP_i - ESP_f)}{100} \cdot CEC \quad (17)$$

در این معادله، X مقدار گچ مورد نیاز بر حسب میلی اکی والان در یکصد گرم خاک خشک و سایر علائم معانی قبلی را دارا هستند.

اخیراً در این ارتباط از معادله مرسومتری به شرح زیر استفاده می شود.

$$G_R = \lambda/5 \cdot D_Z \cdot B_d \cdot CEC \cdot \frac{(ESP_i - ESP_f)}{100} \quad (18)$$

در این معادله :

G_R - میزان گچ مورد نیاز بر حسب تن بر هکتار،

D_Z - ضخامت لایه خاک بر حسب متر که در آن جایگزینی بین کلسیم با سدیم موردنظر است،

B_d - وزن مخصوص ظاهری خاک بر حسب تن بر مترمکعب،

و سایر علائم معانی پیشین را دارا می شوند.

به دلایل زیر، در عمل به مقادیر بیشتری گچ نسبت به میزان محاسبه شده از تئوری (کاربرد معادلات فوق) نیاز خواهد بود:

- عدم امکان کاربرد و پخش یکنواخت گچ در مزرعه،
- جایگزینی مقداری از سولفات کلسیم به جای سایر کاتیونها (غیر از سدیم)،
- شسته شدن مقداری از گچ کاربردی از لایه‌های سطحی و تراکم آن در طبقات زیر سطحی، و
- وجود مقادیر سدیم و کربنات سدیم آزاد در خاک که میزان آن در روابط بالا ملحوظ نمی‌باشد.

لازم به ذکر است که آن میزان یونهای کلسیمی که از ذرات خاک حین فرایند آبشویی و تعویض کاتیونی وارد عمل می‌گردند، نیز در محاسبات بالا منظور نگردیده است.

نتیجه این که کاربرد مواد شیمیایی به‌ساز خاک در اراضی سدیمی، شور و سدیمی کاربرد بیشتری دارد و هدف از مصرف آنها در درجه نخست خنثی نمودن سدیم آزاد در خاکها و پس از آن تأمین کاتیون کلسیم است. که بتواند در هماتفت تبادلی خاک، جایگزین یون سدیم جذب سطحی شده کلونیدهای رس گردد.

همان گونه که قبلاً بیان شد، گچ معمولی ترین ماده اصلاح کننده خاکهای سدیمی، شور و سدیمی می‌باشد، البته مواد دیگری از جمله مشتقات گوگردی نیز می‌تواند بدین منظور به کار گرفته شود، لیکن انتخاب نوع ماده اصلاحی با توجه به وجود یا فقدان کلسیم (مانند آهک) در خاک، به نحوه اثر و اقتصادی بودن مصرف آن مربوط است. در جدول شماره ۴ انواع متداول مواد اصلاح کننده خاکها ارائه گردیده است.

جدول شماره (۴) انواع و مقادیر مواد اصلاح کننده (معادل یک تن گچ)

(مأخذ: منابع شماره ۱۱، ۱۲ و ۲۲)

ردیف	نام ماده اصلاح کننده	فرمول شیمیایی	مقدار ماده اصلاحی معادل یک تن گچ خالص - تن*	ملاحظات در خصوص چگونگی مصرف	
				آب و خاک	خاک
۱	گچ	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	۱/۰	+	-
۲	گوگرد عنصری	S	۰/۱۹	-	+
۳	اسید سولفوریک	H_2SO_4	۰/۶۱	+	-
۴	سولفات آهن	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	۱/۰۹	-	+
۵	سولفور آهک	۹% Ca+ ۲۴% S	۰/۷۸	+	-
۶	کلرور کلسیم	$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	۰/۸۶	+	-
۷	نترات کلسیم	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	۱/۰۶	+	-

* - بر مبنای درجه خلوص صد در صد

در زیر با بیان مثالهایی موارد کاربرد معادلات و جدول فوق تشریح می‌گردد.

- در صورتی که وزن مخصوص ظاهری خاکی برابر با $1/4$ گرم بر سانتیمتر مکعب باشد، میزان نظری Yz جهت کاربرد در معادله شماره (۱۶) برابر با $1/2$ تن گچ برای لایه‌ای از خاک به ضخامت 10° متر خواهد بود.

در حالی که در صد سدیم تبادلی لایه خاک 30° و حد نهایی و مطلوب درصد سدیم تبادلی نهایی خاک 10° انتخاب گردد. (مقداری که در آن تخریب ساختمان خاک به وقوع نمی‌پیوندد). در شرایطی که ظرفیت کاتیونهای تبادلی خاک معادل 24 میلی‌اکی والان در یکصد گرم خاک خشک تعیین شده باشد، مقدار گچ مورد نیاز با استفاده از رابطه شماره (۱۷) معادل $4/7$ میلی‌اکی والان در یکصد گرم خاک خشک خواهد بود. نظر به این که هر میلی‌اکی والان در یک صد گرم خاک خشک معادل 860 قسمت در میلیون گچ می‌باشد، در حالی که وزن خاک یک هکتار زمین به ضخامت 50^1 سانتیمتر حدود $7/75$ میلیون کیلوگرم منظور گردد (در این حالت وزن مخصوص ظاهری خاک برابر با $1/55$ گرم بر سانتیمتر مکعب فرض شده است) براین مبنا میزان گچ خالص و مورد نیاز اصلاح خاک یک هکتار زمین به ضخامت 5° متر برابر $31/0$ تن خواهد بود.

در صورتی که به جای مصرف $31/0$ تن گچ (خالص) مورد نیاز مثال بالا، با فرض امکان کاربرد اسید سولفوریک و یا گوگرد عنصری به جای آن، مقادیر مورد نیاز، با توجه به ارقام مندرج در جدول بالا به ترتیب معادل $18/9$ و $5/9$ تن در هکتار برآورد می‌شود.

به‌طوری که در بالا اشاره شد، امکان کاربرد مواد اصلاح‌کننده خاک (از قبیل گچ و اسید سولفوریک) از طریق آب آبیاری (روش مصرف غیرمستقیم) نیز وجود دارد. از آن جا که در گزارشهای جاری کمتر به این مطلب توجه شده است، ذیلاً با ذکر یک مثال نحوه محاسبه مقادیر لازم (گچ مورد نظر است) ماده اصلاح‌کننده خاک که از طریق آب کاربردی (آب آبیاری) بایستی به کار برده شود، تشریح می‌گردد:

- برای آبیاری مزرعه‌ای به مساحت پنج هکتار از آبی که میزان شوری آن معادل 15° دسی‌زیمنس بر متر (ds/m) می‌باشد، استفاده می‌گردد. مشاهدات نشان داده است که بر اثر مشکل نفوذپذیری کم خاک (عدم نفوذ آب)، گیاه کشت شده در مزرعه کمبود اکسیژن (تنش اکسیژن^۲) را نشان می‌دهد، که علت آن ماندابی بودن سطح اراضی (به‌وسیله آب کاربردی) در دراز مدت می‌باشد. با توجه به بحرانی بودن شرایط ذکر شده، در نظر است گچ به‌عنوان ماده اصلاح‌کننده (به منظور افزایش نفوذپذیری، کاهش مسایل ماندابی و رفع کمبود اکسیژن بر اثر عدم تهویه

۱- تعیین ضخامت لایه مورد نظر برای اصلاح خاک به نوع زراعت و برنامه اصلاحی خاک بستگی دارد.

خاک) به آب آبیاری افزوده گردد. در صورتی که عمق آب کاربردی یکصد میلیمتر باشد و گچ موردنظر ۷۰ درصد درجه خلوص داشته و در نظر باشد که میزان گچ (سولفات کلسیم) آب آبیاری فقط به میزان دو میلی‌اکی‌والان بر لیتر افزایش یابد، محاسبه گچ مورد نیاز به قرار زیر است:

$$\text{کل آب مورد نیاز - متر مکعب} \quad 50000 \times \frac{100}{1000} = 5000$$

هر میلی‌اکی‌والان بر لیتر کلسیم برابر با ۸۶ کیلوگرم گچ (با درجه خلوص ۱۰۰ درصد) در ۱۰۰۰ متر مکعب آب می‌باشد. بنابراین برای افزایش ۲ میلی‌اکی‌والان بر لیتر گچ در ۵۰۰۰ متر مکعب کل آب مورد نیاز، مقدار گچ (با درجه خلوص ۱۰۰ درصد) برابر است با:

$$\text{گچ خالص - کیلوگرم} \quad \frac{5000}{1000} \times 2 \times 86 = 860$$

از آن جا که گچ موردنظر فقط ۷۰ درصد درجه خلوص دارد، بنابراین کل میزان گچ مورد نیاز (ناخالص) برابر خواهد بود با

$$\text{گچ (ناخالص) - کیلوگرم} \quad \frac{860 \times 100}{70} = 1228/6 = 1230$$

این میزان گچ بایستی به صورت ذرات ریز به آب آبیاری افزوده شود. بدیهی است در صورتی که مقادیری از گچ به همراه روان‌آب سطحی از مزرعه خارج گردد، معادل آن بایستی به مقدار گچ کاربردی افزوده گردد.

۵-۴ اصلاح و بهسازی خاکهای سدیمی (غیرشور)

در زمینه اصلاح و بهسازی خاکهای سدیمی (غیرشور)، شور و سدیمی تحقیقات و تجارب زیادی مبتنی بر اعمال روشهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی وجود دارد که انتخاب نوع روش خاص و یا تلفیقی از چند روش، بستگی به امکانات تخصصی و فنی منطقه مورد اجرا دارد. با وجود این عقیده مشترک محققان بر آن است که تاکنون اعمال روش تلفیقی، مؤثرترین شیوه در اصلاح و بهسازی چنین خاکهایی بوده است. در واقع هرگونه تمهید یا اقدامی اعم از فیزیکی، شیمیایی و یا بیولوژیکی که بتواند یون کلسیم محلول را برای جایگزینی با یون سدیم (جذب شده بر سطح کلوئیدهای رس) قابل تبادل در خاک فراهم آورد، یقیناً می‌تواند در اصلاح این نوع خاکها مؤثر واقع شود.

تذکر این مهم لازم است که بلافاصله پس از آن که از نظر شیمیایی امکان جایگزینی کاتیونها (کلسیم به جای سدیم) در خاک فراهم شود. آنچه در تکمیل آن می تواند اقدام ضروری تلقی گردد، اعمال امر آبشویی، توسعه و بهبود شرایط زهکشی خاک خواهد بود که می تواند فرایند اصلاح خاک را تسهیل نماید.

در مورد اصلاح و بهسازی خاکهای سدیمی (غیرشور)، بهبود ساختمان تخریب شده خاک که حصول به آن گاهی خالی از اشکال نیز نیست، یکی از مراحل اساسی کار است. برای اصلاح ساختمان این قبیل خاکها به طور معمول به مقادیر قابل توجهی (به طور نسبی) مواد اصلاح کننده شیمیایی از جمله گچ نیاز خواهد بود.

در خاکهای سدیمی، به علت شسته شدن ذرات رس طبقات سطحی و تراکم یافتن آنها در لایه های زیرین نیمرخ خاکها، معمولاً طبقه غیر قابل نفوذ و متراکمی پدید می آید که امکان نفوذ و تحرک آب و مواد اصلاح کننده ای را که به شکل محلول درمی آیند، بسیار کاهش داده و فرایند اصلاح خاکها را بسیار کند و طولانی می نماید. بدین دلیل علاوه بر پاره ای اقدامات شیمیایی لازم (کاربرد مواد اصلاح کننده) تمهیدات فیزیکی و بیولوژیکی زیر نیز در توسعه و بهبود شیوه اصلاح این قبیل خاکها می تواند مؤثر واقع گردد.

۴-۵-۱ اقدامات فیزیکی

- اعمال شخم عمیق در خاکهای مطابق که در آنها لایه نفوذپذیر در سطح و افق کم نفوذپذیر آنها زیر سطحی باشد با اهمیت تلقی می گردد. افزون بر این در خاکهایی که در طبقات زیرین آن تجمع گچ وجود دارد، انجام شخم عمیق به منظور اختلاط گچ با خاک طبقه سطحی توصیه می گردد. در این حالت کاهش میزان عملکرد محصولات زراعی را در سالیان اولیه بایستی انتظار داشت.
- کاربرد ماسه (شن ریز) از طریق پخش و اختلاط آن با خاک لایه سطحی در خاکهای سنگین بافت. کاربرد این روش در خاکهای بسیار سنگین چندان مؤثر نمی باشد.
- به هم زدن خاک زیر سطحی^۱، به منظور شکستن و نفوذپذیر نمودن افق زیر سطحی (طبقه تجمع و تراکم رس) و یا لایه آهکی زیرین نیمرخ خاکها
- وارونه نمودن نیمرخ خاک، در حالاتی که طبقه زیر سطحی از خواص فیزیکی مناسبی برخوردار نباشد. با اعمال روش وارونه نمودن نیمرخ خاک، خاک طبقه دوم به لایه سوم و خاک افق سوم به جای طبقه دوم جابه جا شده، و سرانجام خاک لایه سطحی بر روی آن قرار داده می شود.
- کشت نباتات ریشه عمیق، یقیناً می تواند در اصلاح فیزیکی این قبیل خاکها مؤثر افتد.

کاربرد مواد آلی (کود دامی و یا شاخ و برگ گیاهان موجد کود آلی) در اصلاح بیولوژیکی این خاکها مؤثر است. نخستین اثر کاربرد چنین موادی، بهبود نفوذپذیری و آبگذری خاک و بالاخره تولید گاز کربنیک در خاک می باشد. این امر در آن قبیل اراضی سدیمی که منشأ آهکی دارند موجبات حلالیت بیشتر کربنات کلسیم موجود در خاکها را فراهم آورده و در اصلاح آنان تأثیر مطلوب دارد. به طور کلی به منظور تقویت و اصلاح ساختمان خاک، کاربرد مواد آلی توصیه شده است.

در تکمیل مبحث اصلاح و بهسازی خاکهای سدیمی (غیر شور) قابل ذکر است، به طوری که تجربه نشان داده است، اگر یون کلسیم به میزان کافی در خاک وجود داشته باشد، آبشویی مقدماتی آنها با آب شور، و سپس ادامه و استمرار آبشویی با استفاده از آبهای با کیفیت مناسبتر کاملاً مؤثر بوده است.

۴-۶ نتیجه گیری از مبحث اصلاح و بهسازی خاکهای مسأله دار

با توجه به آنچه در این مبحث بیان شد، نتیجه می گردد که:

اصلاح و بهسازی خاک و اراضی مبتلا به مسایل شوری و سدیمی بودن که در اکثر حالات با مشکلات زهدار و ماندابی بودن نیز همراه است، مجموعه اقداماتی تخصصی و پرهزینه است؛ بدین دلیل ایجاب می نماید که قبل از تصمیم گیری در مورد چگونگی اصلاح و بهسازی این نوع خاکها، جنبه های فنی و ابعاد اقتصادی آن مورد بررسی، تجزیه و تحلیل قرار گیرد.

پس از اجرای عملیات و برنامه های اصلاح خاکهای مبتلا به مسایل شوری و سدیمی بودن، همواره خطر بازگشت دوباره شوری از طریق پدیده خیزموییتهای، اراضی تازه اصلاح شده را تهدید می کند. پایین نگهداشتن سطح آب زیرزمینی از طریق احداث سیستم زهکشی موجب می گردد که بتوان حاشیه مؤینه ای ناشی از خیزش مؤینه ای آب را در عمق مطلوب و معین کنترل و نگهداری نموده و از گرایش دوباره شوری جلوگیری به عمل آورد.

در شرایط اقلیمی ایران و به ویژه در شرایطی که از آب شور برای آبیاری استفاده می شود، هرگاه تراوشهای عمقی برای شستشوی املاح بر جا مانده در خاک کافی نباشد، باید مقداری آب افزون بر نیاز آبیاری به خاک داده شود. کاربرد این میزان آب اضافی موجب می گردد تا آن مقدار املاحی که در فاصله تناوب بین دو دور آبیاری، در نیمرخ خاک صعود نموده است، آبشویی گردیده و از نیمرخ خاک خارج گردد. قابل ذکر است که هرچه عمق سفره آب زیرزمینی (نسبت به سطح مزرعه) کمتر باشد، مقادیر بیشتری آب اضافی برای کنترل املاح تراکم یافته، مورد نیاز خواهد بود. برای استمرار بهره وری از خاک و اراضی اصلاح شده ای که قبلاً شور و سدیمی بوده اند، ضروری است که بین عمق سطح ایستابی مزرعه، میزان و مصرف آب آبشویی هماهنگی و تعادل برقرار گردد.

۵- روش اجرای آزمایشها، فرآوری داده‌ها و نحوه نتیجه‌گیری

۱-۵ مقدمه

به‌طوری‌که در مباحث قبل بیان شد. به‌طور کلی اصول اصلاح و بهسازی به لحاظ فیزیکی - شیمیایی خاکهای مبتلا به مسایل شوری و سدیمی بودن شامل موارد زیر است:

الف - آبشویی املاح متراکم در محدوده ریشه نباتات.

ب - انجام عملیاتی که منجر به جایگزینی یون کلسیم (Ca^{2+}) با یون سدیم (Na^+) در خاک گردد.

پ - جلوگیری از گرایش آتی اراضی اصلاح شده به شوری و سدیمی شدن.

به‌منظور تهیه اطلاعات مورد نیاز و دستیابی به اهداف موارد (الف) و (ب)، آزمایشهای اصلاح خاک و اراضی، یعنی آبشویی املاح محلول از نیمرخ خاکها (شوری زدایی، سدیم‌زدایی و تهیه منحنیهای آبشویی) لازم است در منطقه موردنظر به انجام رسد تا از آن طریق دسترسی به اهداف زیر مهیا گردد:

- بررسی امکانات شوری زدایی و عدم گرایش کیفیت خاک به قلیائیت (سدیمی شدن) با و بدون کاربرد مواد اصلاح‌کننده خاک (گچ، اسید سولفوریک، گوگرد و ...).

- تعیین آب لازم جهت اصلاح فیزیکی - شیمیایی خاکهای موردنظر با و بدون مصرف مواد اصلاح‌کننده خاک، برآورد زمان لازم جهت نفوذ مقادیر آب موردنیاز برای آبشویی املاح محلول نیمرخ خاکها با کاربرد آب آبشویی یا آب آبشویی و مواد اصلاح‌کننده.

- بررسی و مقایسه نتایج حاصل از کاربرد آب آبشویی غیرشور (آب آبیاری)، مصرف آبهای لب شور و قابل دسترسی برای آبشویی اولیه خاکها.

- بررسی چگونگی تغییرات میزان نفوذپذیری خاکهای مورد آزمون از طریق کاربرد آب آبشویی، آب آبشویی و مواد اصلاح‌کننده، آب لب شور و غیره

بدین ترتیب امکان پاسخ‌گویی به سئوالات مطروحه در زمینه اصلاح و بهسازی خاکهای مبتلا به مسایل شوری و سدیمی بودن یعنی امکان اصلاح خاکها از طریق کاربرد آب آبشویی به تنهایی، گرایش یا عدم گرایش کیفیت شیمیایی آنها به سدیمی شدن، میزان لازم آب آبشویی، آب آبشویی + مواد اصلاح‌کننده، ضرورت مصرف آب شور یا عدم توجه مصرف آن و سرانجام زمان لازم جهت تعدیل مشکل شوری و سدیمی بودن خاکها از طریق عملیات اصلاحی مشخص خواهد شد.

به منظور انجام دقیقتر آزمایشهای اصلاح خاک و اراضی در منطقه مورد نظر، در ابتدا لازم است که اطلاعات و مدارک موجود در این زمینه گردآوری، طبقه‌بندی و مورد توجه قرار گیرد. از جمله اسناد و مدارک قابل توجه در این ارتباط شامل: گزارش و نقشه‌های خاک شناسی و طبقه‌بندی اراضی (به خصوص نقشه خاکها، نقشه شوری و قلیائیت اراضی)، گزارش و نقشه‌های مطالعات تکمیلی خاک شناسی و بررسیهای آبیاری و زهکشی منطقه (چاهکهای مطالعاتی، پیزومترهای ساده و مرکب، لایه‌بندی خاکها، استقرار لایه محدودکننده، هدایت هیدرولیک خاک، سرعت نفوذ آب به خاک و ...) می‌باشد. از آن جایی که فرآیندهای شوری و سدیمی بودن خاکها پویا بوده و تابع زمان و مکان است، بنابراین در صورتی که از زمان انجام مطالعات خاک شناسی و طبقه‌بندی اراضی مدت قابل ملاحظه‌ای گذشته و نحوه بهره‌برداری و مدیریت اراضی تغییر نموده باشد ضروری است که نقشه شوری و قلیائیت خاکهای منطقه به روز گردد.

بررسی گزارشها و نقشه‌های فوق‌الذکر، مطالعه‌کنندگان را از نقطه نظر انجام بررسیهای صحرائی و آزمایشگاهی یاری خواهد نمود تا با حداقل صرف وقت و هزینه و بدون دوباره‌کاری نسبت به برنامه‌ریزی، اجرا و نتیجه‌گیری از آزمایشهای مورد نظر و با دقت نسبی زیادتری موفقیت حاصل نمایند.

مواردی که از گزارش و نقشه‌های خاک شناسی، طبقه‌بندی اراضی، مطالعات تکمیلی و بررسیهای زهکشی منطقه قابل استخراج و استفاده در مطالعات شوری و سدیم‌زدایی خاک و اراضی می‌باشد، شامل موارد کلی زیر است:

- ویژه گیهای ذاتی خاکها شامل نفوذپذیری، بافت خاک (به خصوص لایه سطحی و لایه‌های زیر سطحی تا عمق ۱/۵ متری مورد نظر است)، هدایت هیدرولیک لایه‌های زیر سطحی، ظرفیت نگهداری آب در خاک، وزن مخصوص ظاهری و حقیقی و سایر اطلاعاتی که عمدتاً در محل نیمرخ شاهد مطالعات خاک شناسی انجام و ثبت شده است،
- خصوصیات کیفی خاکها مشتمل بر حالت و شدت درجات شوری و سدیمی بودن، عمق و کیفیت آب زیرزمینی، آثار آب ماندگی دایم و موقت در سطح و نیمرخ خاک و غیره.
- مشخصات منطقه‌ای از قبیل: فیزیوگرافی، توپوگرافی (شیبها از نظر حالت و شدت)، موارد مرتبط با فرسایش و افزایش (آبی و بادی)، سری و پراکنش فازها در سریهای مربوط و ...

پیشنهاد می‌گردد برپایه گزارش، نقشه‌های خاک شناسی و طبقه‌بندی اراضی، جداولی به شرح زیر تهیه و براساس مندرجات آنها در خصوص تعیین تعداد و تکرار آزمایشهای لازم در زمینه آزمایشهای اصلاح خاک و اراضی اقدام شود:

- مساحت و درصد مساحت کل سریهای خاک و فازهای مربوط به هر سری در محدوده مطالعاتی.
- وضعیت فازهای مربوط به هر سری خاک از نظر ویژگیهای بافت و نفوذپذیری لایه‌های زیر سطحی و تحت کلاسه‌های مربوط در محدوده مورد بررسی.
- توزیع مساحت سریهای متفاوت خاک در کلاسه‌ها و تحت کلاسه‌های مربوط در خاکهای منطقه موردنظر.
- توزیع کلاسه‌های شوری و قلیائیت خاک و اراضی در سریهای خاک و فازهای مرتبط به هر سری در منطقه مطالعاتی.
- مساحت و درصد کلاسه‌های متفاوت شوری و قلیائیت خاک و اراضی در سریهای مختلف خاکهای منطقه موردنظر.

نمونه‌ای از جداول پیشنهادی در پیوست شماره پنج ارائه گردیده است. تهیه و بررسی جداول بیان شده این امکان را فراهم می‌آورد تا ضمن مطالعه عوامل مختلف و متفاوت، مساحت و درصد اراضی مسأله‌دار را با توجه به عوامل ذاتی، کیفی و منطقه‌ای از نظر تعداد آزمایشهای موردنظر ارزیابی نمود.

به دلیل پرهزینه و وقت گیر بودن اجرای آزمایشهای اصلاح خاک و اراضی و تعدد عوامل مورد بررسی و اندازه‌گیری، اصلاح آن است که حداقل آزمایشهایی را که بتواند نتایج صحیح و منطقی را حاصل نماید، انتخاب و اجرا نمود؛ لیکن ضروری است که در انتخاب نقاط از نظر تعداد و تکرار مکانهایی را که معرف کلاس شوری و قلیائیت در فاز، سری و واحد فیزیوگرافی غالب منطقه مورد بررسی است، انتخاب و آزمایشهای لازم را به انجام رسانید به طوری که نتایج حاصل قابل بسط و تعمیم به بخش قابل ملاحظه‌ای از اراضی مبتلا به باشد. در این راستا پیشنهاد می‌گردد، اولاً اراضی با مساحت بسیار کم از برنامه حذف شود، ثانیاً اراضی مبتلا به که شوری و قلیائیت آنها از کلاس S_2A_2 بالاتر است، انتخاب و در برنامه گنجانده شود، ثالثاً چنانچه در یک سری خاک فازهای مختلفی با درجات شوری و قلیائیت متفاوت وجود داشته باشد، کلاسه‌های با درجات شوری و قلیائیت بالاتر انتخاب شود. زیرا در صورتی که اراضی با کلاسه‌های شوری و قلیائیت بالاتر قابل اصلاح تشخیص داده شود بالطبع نتایج حاصله برای سایر فازهای سری مربوط به کلاس شوری و قلیائیت پایین‌تر قابل استفاده خواهد بود.

۳-۵ روشهای اجرایی آزمایشهای اصلاح خاک و اراضی

آزمایشهای اصلاح خاک و اراضی و یا بررسیهای اصلاح‌پذیری خاکها را می‌توان به روشهای آزمایشگاهی و صحرایی

به انجام رسانید. تعیین نوع آزمایش بستگی کاملی به درجه دقت، وسعت و دامنه کاربرد نتایج حاصله خواهد داشت. ذیلاً به ذکر روشهای متداول اشاره می‌گردد:

- آزمایشهای آزمایشگاهی

برای انجام آزمایش تعیین درجه اصلاح پذیری خاکهای مبتلا به مسایل شوری، سدیمی و یا شوری و سدیمی بودن، از اعماق مختلف محلی که معرف اراضی کلاس شوری و یا قلیائیت مربوط باشد به وسیله مته یا هر وسیله دیگری نمونه بردای می‌گردد. نمونه‌ها در هوای آزاد خشک و سپس کوبیده و از الک دو میلیمتری گذارنده می‌شود (حدود یک کیلوگرم). مقداری از خاک غربال شده را در استوانه آبشویی که مجرای جهت خروج زه‌آب در کف آن تعبیه شده است قرار داده و مقداری آب لازم برای اشباع و ایجاد تراوشهای عمقی و ثقلی با روشهای غرقاب دایم و یا متناوب به ستون خاک اضافه نموده و با اندازه‌گیری شوری و نسبت جذب سدیم (SAR) اولیه و نهایی نمونه خاک، اندازه‌گیری حجم و شوری زه‌آبهای حاصله تراوشهای عمقی ستون خاک، رابطه بین حجم آب خروجی با زمان و حجم آب خروجی و شوری زه‌آبها را تعیین نموده و از اعداد و ارقام حاصل در آزمایشهای آبشویی خاکهای شور و یا شور و سدیمی بهره گرفت.

آزمایشهای بیان شده فوق می‌تواند به صور دیگری نیز به مرحله اجرا درآید، لیکن در همه حال به دلیل کوچک بودن نمونه خاکها و دست خورده بودن آنها دقت این قبیل آزمایشها کاهش می‌یابد و به این دلیل کاربرد نتایج حاصله در برنامه‌های اصلاح خاک و اراضی مزرعه‌ای خالی از اشکال نخواهد بود.

- آزمایشهای صحرایی

به منظور رفع نقایص یاد شده و بهره‌مندی از مزایای دیگری که در روش کار مندرج است، انجام آزمایشهای اصلاح خاک و اراضی به طریق صحرایی توصیه می‌گردد. برای انجام این قبیل آزمایشها ابتدا لازم است، نقاط موردنظر بر روی زمین مشخص و پس از آن ضمن بازدید صحرایی، مندرجات نقشه‌ها با عوارض سطح اراضی در محل موردنظر تطابق داده شود. در مرحله بعد لازم است قطعه زمین یکنواخت و بلامعارضی به مساحت حدود ۱۰۰ مترمربع (۱۰×۱۰ متر) میخ‌کوبی و یا علامت‌گذاری شده و آزمایشهای موردنظر در این قطعه زمین بمرحله اجرا درآید.

برای انجام آزمایشهای صحرایی اصلاح خاک و اراضی به منظور صرفه‌جویی در وقت و هزینه، پیشنهاد می‌گردد محل انتخابی حتی المقدور در حواشی و یا مجاور نیمرخ شاهد خاک شناسی محل باشد. انجام آزمایشها در صحرا معمولاً با روشهای زیر به مورد اجرا درمی‌آید که هر کدام معایب و مزایای خاص خود را دارند.

● اجرای آزمایشها در کرت‌های کوچک

برای این منظور یک سری کرت به ابعاد 1×1 یا $1/5 \times 1/5$ و یا 2×2 متر را با پشته‌هایی (از خاکی غیر از خاک داخل کرت) مستحکم می‌سازیم و کف کرت‌ها را حتی‌المقدور مسطح می‌گردانیم. تعداد کرت‌های مورد نیاز بستگی به کل عمق آب آبخویی و تناوب و عمق آب کاربردی در افزایش آب به خاک دارد. به عنوان مثال: در صورتی که کل عمق آب آبخویی 150 سانتیمتر و عمق آب کاربردی در هر بار 10 سانتیمتر باشد، ضروری است که 16 قطعه کرت ایجاد گردد و در حالی که همان میزان آب در شش عمق 25 سانتیمتری به کار رود، تعداد کرت‌ها به هفت قطعه تقلیل می‌یابد. در این مورد ذکر نکات زیر ضروری است:

- به منظور جلوگیری از جذب آب به وسیله پشته‌ها می‌توان اطراف کرت‌ها را با ورقه پلاستیکی پوشش نمود.
- کرت‌ها در جهت طولی و عرضی بایستی حداقل یک متر از کرت هم‌جوار فاصله داشته باشد.
- طی مدت فرونشست آب در خاک و یا فاصله بین دوبار کاربرد آب، ضروری است سطح کرت‌ها به وسیله یک ورقه نایلونی پوشیده گردد (جهت جلوگیری از تبخیر آب از سطح خاک).
- کرت اضافی جهت انجام آزمایش در شرایط استغراق کامل در نظر گرفته شود. در این کرت آب به نحوی اضافه می‌گردد که همواره لایه‌ای از آب سطح کرت را بپوشاند و خاک همواره در استغراق کامل باشد. در این کرت می‌توان سرعت نفوذ آب به خاک را در اولین و آخرین دوره کاربرد آب آبخویی اندازه‌گیری نمود. علاوه بر آن می‌توان مقایسه‌ای بین دو روش غرقاب دائم و متناوب را نیز انجام داد.

در این روش، ابتدا اولین نوبت آب آبخویی به کلیه کرت‌ها اضافه می‌شود و پس از نفوذ آب به خاک و با گذشت زمان معقولی که آب ثقی از عمق مورد نظر خارج شود، از اولین کرت نمونه‌برداری به عمل می‌آید. معمولاً نمونه‌ها در سه تکرار با تناوب $2/0$ یا $25/0$ متری و تا عمق دلخواه از خاک برداشت می‌شود. پس از نمونه‌برداری، اولین کرت از دور آزمایش حذف می‌گردد. سپس نوبت بعدی آب آبخویی به کرت‌های باقی مانده اضافه می‌شود.

پس از نفوذ دومین آب کاربردی، مجدداً از کرت شماره دو به شرح فوق نمونه‌برداری می‌شود و به همین ترتیب افزودن نوبت بعدی آب آبخویی به سایر کرت‌ها استمرار می‌یابد. روند افزایش آب و نمونه‌برداری از سایر کرت‌ها تا نفوذ آخرین نوبت آب کاربردی به دو کرت باقیمانده همانند آنچه بیان گردید ادامه پیدا می‌کند.

در این روش آزمایش ضروری است که از یک یا دو نقطه در جوار کرت‌های آزمایشی تا عمق مورد نظر از خاک نمونه‌برداری گردد؛ از این نمونه‌ها برای اطلاع از خصوصیات شیمیایی همچنین تعیین رطوبت خاک قبل از آبخویی استفاده می‌شود. بهتر است که در نقطه نمونه‌برداری شده در صورت امکان لایه‌بندی دقیق‌تری انجام و ثبت گردد.

تجزیه‌های شیمیایی موردنظر بر روی نمونه‌های خاک قبل و پس از اجرای آزمایش آبشویی، شامل: هدایت الکتریکی، عصاره اشباع، pH، کاتیونها و آنیونهای محلول، درصد کربنات کلسیم، میزان گچ، ظرفیت تبادل کاتیونی، سدیم قابل تعویض خاک و در صورت نیاز بر است. تجزیه‌های شیمیایی موردنظر روی نمونه‌های خاک در حین آبشویی، شامل: هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک، pH و کاتیونهای محلول (سدیم، کلسیم و منیزیم) می‌باشد.

بدیهی است که درخصوص کلیه نمونه‌ها می‌توان درصد سدیم تبدلی را از رابطه بین SAR و ESP محاسبه نمود و درخصوص نمونه‌های قبل و پس از آبشویی علاوه بر رابطه فوق می‌توان درصد سدیم تبدلی را مستقیماً از طریق آزمایش (تجزیه‌ای) نیز به دست آورد.

در صورتی که نمونه آب مورد مصرف دارای دامنه تغییر در زمان کوتاه آبشویی نباشد، برداشت یک نمونه از آب مصرفی و نمونه آب زیرزمینی محل اجرای آزمایش (در صورت وجود) برای انجام تجزیه کامل کافی است. پیشنهاد می‌گردد به منظور رعایت موارد صرفه‌جویی در هزینه‌ها، نمونه‌های خاکی که در سه تکرار (مربوط به هر عمق) و برای هر نوبت کاربرد آب آبشویی برداشت می‌گردد، در ابتدا در هوای آزاد خشک، کوبیده و غربال گردد و از اختلاط و امتزاج آنها فقط یک نمونه مرکب خاک برای هر عمق تهیه و برای تجزیه به آزمایشگاه ارسال شود.

اعمال دقت درخصوص اجرای آزمایش، نمونه‌برداری، کنترل نمونه‌های خاک و آب برداشت شده موجب حصول اطمینان درخصوص کاربرد و تعمیم نتایج حاصله خواهد بود. در حالتی که علاوه بر آب آبشویی، کاربرد مقادیر لازمه ماده اصلاحی خاک (گچ، اسید سولفوریک و غیره) و یا مصرف آبهای لب شور و قابل دسترسی نیز مدنظر باشد از نظر تعداد، نمونه‌برداری و سایر تمهیدات مشابه حالت فوق عمل می‌شود.

● اجرای آزمایش از طریق استوانه‌های مضاعف

با توجه به اهداف اجرای آزمایشها، یعنی کاربرد آب آبشویی، روش آبشویی (غرقاب دایم یا متناوب)، مواد اصلاح کننده مصرفی و یا کاربرد آبهای لب شور و یا ترکیبی از آنها تعداد استوانه‌های مضاعف و موردنیاز از سه تا شش متغیر خواهد بود. بنابراین با توجه به تعداد استوانه‌های مضاعف کاربردی آرایش آنها می‌تواند مثلثی، مربعی، دایره‌ای و یا مستطیلی باشد. نمونه‌برداری از خاک قبل از اجرای آزمایشها در روش مثلثی از محل برخورد سه میانه، در روشهای مربعی و مستطیلی از محل برخورد اقطار و در روش دایره‌ای از مرکز دایره و به همان وضعیت و شرایطی است که درخصوص کرتهای کوچک بیان شد. انجام نمونه‌برداری از خاک، آب و اعمال تجزیه‌های لازم قبل از انجام امر آبشویی مشابه روش قبلی است. نحوه استقرار استوانه‌های مضاعف مشابه انجام آزمایش تراوش‌پذیری می‌باشد، به‌منظور تعیین سرعت نفوذ آب به خاک و آثار آبشویی بر روی آن معمولاً در اولین و آخرین نوبت مصرف آب آبشویی اندازه‌گیری آن انجام می‌شود.

در روشهای مستطیلی و دایره‌ای که معمولاً شش جفت استوانه مضاعف به کار می‌رود، مشابه مورد کرتهای کوچک پس از نفوذ اولین دور آب آتشویی و انجام نمونه‌برداری از اعماق موردنظر، یک جفت از سیلندرها از دور آزمایش حذف و مطابق روش قبل، افزودن آب آبیاری یا آتشویی تا کاربرد آخرین دور آب مصرفی ادامه می‌یابد؛ لیکن در حالتی که از سه یا چهار جفت استوانه مضاعف استفاده به عمل می‌آید (روشهای مثلثی و یا مربعی) پس از کاربرد هر نوبت آب آتشویی و انجام نمونه‌برداری از خاک داخل استوانه‌ها، محل نمونه‌برداری شده به وسیله یک عدد لوله پی وی سی، هم قطر مته نمونه‌برداری خاک (معمولاً ۵ سانتیمتر) اشغال و فضای داخل آن که در واقع محل نمونه‌برداری از خاک سطح استوانه بوده به وسیله خاک پر و کوبیده می‌شود تا از قرار و نشست آب جلوگیری به عمل آید. نظر به این که بخشی از سطح استوانه داخلی به وسیله لوله اشغال می‌شود، ضروری است که حجم معادل آب آن در محاسبات افزایش آب به سطح استوانه‌های داخلی منظور گردد.

نحوه نمونه‌برداری، تناوب و تواتر نمونه‌برداریها، اعماق نمونه‌برداری و انواع تجزیه‌های شیمیایی دقیقاً مشابه اجرای آزمایش در روش کرتهای کوچک است.

۴-۵ نحوه تدوین گزارش و نتیجه‌گیری از نتایج و ارقام حاصل از اجرای آزمایشهای اصلاح خاک و اراضی

- در بخش کلیات این مبحث در ابتدا لازم است، جداولی در خصوص :
- شماره آزمایش، سری خاک و شماره فاز مربوط، کلاس شوری و قلیائیت اراضی مورد آزمایش (قبل از آتشویی املاح)، محل اجرای آزمایش، عمق سطح ایستابی، هدایت هیدرولیک خاک، عمق طبقه محدود کننده، سرعت نفوذ پایه اراضی (اولیه و نهایی) و بالاخره منبع و کلاس آب کاربردی.
 - شماره آزمایش، تاریخ نمونه‌برداری از آب کاربردی (روز، ماه و سال) هدایت الکتریکی، pH، کاتیونها و آنیونهای محلول (سدیم، کلسیم، منیزیم، کلر، سولفات، کربنات و بی‌کربنات) مقدار نسبت جذب سدیم (SAR) و یا نسبت جذب سدیم تعدیل شده^۱.

برای کلیه آزمایشهای به انجام رسیده، ارائه گردد و پس از آن برای هر مورد آزمایش انجام شده، جدولی حاوی مشخصات فیزیکی طبقات مختلف نیمرخ خاک شامل:

- اعماق نمونه‌برداری، ضخامت لایه‌های خاک، درصد رطوبت وزنی (ظرفیت مزرعه، نقطه پژمردگی و رطوبت صحرائی)، وزن مخصوص خاک (ظاهری و حقیقی)، تخلخل کل خاک طبقات (بر حسب درصد)، نفوذپذیری^۲ و بالاخره عمق آب مورد نیاز جهت تأمین کسر رطوبت خاک تا حد ظرفیت مزرعه ارائه شود. بر مبنای اطلاعات

1- Adjusted Sodium Adsorption Ratio

2- Permeability

مندرج در جداول مورد نظر، خصوصیات فیزیکی - شیمیایی خاکهای محل اجرای آزمایش از قبیل: کلاس، وضعیت شوری و سدیمی بودن خاک، بافت، هدایت هیدرولیکی، عمق استقرار لایه محدود کننده، عمق سطح ایستابی (و کیفیت آب زیرزمینی، به شرط در دسترس بودن اطلاعات)، سرعت نفوذ پایه اراضی (اولیه و نهایی) توصیف گردد. همچنین مشخصات فیزیکی خاک طبقات نمونه برداری شده و عمق آب مورد نیاز جهت تأمین کسر رطوبت لایه های مختلف نیمرخ خاک به منظور استنتاج و موارد کاربردی تفسیر شود.

پس از آن به استناد ارقام و اطلاعات موجود از تجزیه شیمیایی نمونه های آب مورد مصرف در هر آزمایش (و تکرار مربوط) ارزیابی کیفیت شیمیایی آبهای کاربردی در امر آبشویی املاح صورت پذیرد.

همچنین لازم است، در هر نقطه ارقام تجزیه کامل شیمیایی خاک، قبل از آبشویی املاح و برای اعماق نمونه برداری شده در جدولی ارائه شود. بر مبنای اطلاعات مندرج در این جدول نسبت به تفسیر ارقام اقدام گردد. در این تفسیر عوامل اصلی (شوری، pH، درصد سدیم تبادل) و فرعی (کربنات کلسیم، گچ، کاتیونها و آنیونها محلول عصاره اشباع خاک) برای هر لایه و مجموع طبقات نمونه برداری شده مورد توجه قرار گیرد.

توصیه می شود اطلاعات به دست آمده از نتایج تجزیه های آزمایشگاهی نمونه های خاک بعد از نفوذ و هر نوبت آب آبشویی شامل عوامل اصلی (شوری، pH، کاتیونها محلول و درصد سدیم قابل تبادل) نیز در جدولی در متن گزارش ارائه شود.

به همین ترتیب ضروری است که اطلاعات به دست آمده از نتایج آزمایشگاهی نمونه های خاک پس از کاربرد آخرین تناوب آب آبشویی نیز به صورت جدولی در متن گزارش ارائه گردد. بهتر است که نتایج تجزیه شیمیایی نمونه های خاک طبقات مورد نظر قبل و بعد از آبشویی املاح در یک جدول تحت عنوان:

”تغییرات کیفیت شیمیایی خاک، قبل و بعد از کاربرد عمق آب آبشویی مورد نظر در آزمایش مربوط“ ارائه شود.

به منظور بررسی تغییرات مقادیر شوری و درصد سدیم تبدلی نمونه های خاک طبقات طی دوره آبشویی املاح و بر مبنای ارقام مندرج در جداول یاد شده می توان نسبت به محاسبه میانگین وزنی برای لایه های مورد نظر (مثلاً ۰-۲۵، ۵۰-۷۵، ۱۰۰-۱۰۰ سانتیمتری) اقدام و با کاربرد آنها همچنین ارقام مندرج در جداول اصلی (تجزیه های شیمیایی نمونه های خاک اعماق نمونه برداری شده) نسبت به تهیه اشکال زیر برای هر مورد آزمایش اقدام نمود و نتایج را در چهار شکل جداگانه ارائه داد.

الف - رابطه بین تغییرات میزان شوری لایه های مختلف نیمرخ خاک به ازای مقادیر مختلف آب کاربردی^۱.

ب - رابطه بین میزان آب کاربردی، با درصد املاح اولیه باقی مانده و شسته شده در لایه های مختلف نیمرخ خاک (به صورت تجمعی).

۱- منظور از میزان آب کاربردی مقدار آب آبشویی ناخالص یا D_w می باشد.

پ - رابطه بین تغییرات میزان درصد سدیم تبادلی لایه‌های مختلف نیمرخ خاک به ازای مقادیر مختلف آب کاربردی.

ت - رابطه بین میزان آب کاربردی با درصد سدیم تبادلی اولیه باقی مانده و شسته شده در لایه‌های مختلف نیمرخ خاک (به صورت تجمعی).

در شکل‌های موردنظر (موارد الف و پ) که مبتنی بر اعداد و ارقام حاصل از آزمایش صحرایی است، تغییرات هر عامل برای هر یک از لایه‌ها به‌طور مستقل مورد توجه قرار می‌گیرد و به دلیل کوتاه بودن مدت زمان نمونه‌برداری از خاک و استمرار آبشویی املاح (کاربرد تناوب بعدی آب آبشویی)، تغییرات هر عامل (شوری و یا درصد سدیم تبادلی) طی این مدت کوتاه ناچیز انگاشته می‌شود. بنابراین، با استفاده از این اشکال و با انتخاب عمق آب آبشویی می‌توان حدود تغییرات شوری و یا درصد سدیم تبادلی خاک را برای هر لایه خاک بررسی و برآورد نمود.

در دو شکل دیگر (موارد ب، ت) که براساس اعداد و ارقام حاصل از میانگین وزنی (محاسبه شده) تهیه و ترسیم می‌گردند، ستون خاک تا انتهای لایه موردنظر به عنوان یک محیط پیوسته منظور می‌گردد که به یکباره می‌توان از طریق کاربرد شکل‌های یاد شده تغییرات هر عامل (شوری و یا درصد سدیم تبادلی) خاک را برای هر عمق (از سطح خاک تا عمق دلخواه) و به ازای عمق آب آبشویی معینی برآورد نمود.

اگرچه اشکال چهارگانه بالا در واقع مکمل یکدیگرند، لیکن استفاده مستقیم از شکل‌های ب و ت از نظر برآورد کمی حدود تغییرات عوامل شوری و درصد سدیم تبادلی خاک‌های مورد آزمایش بر دو شکل دیگر (الف و پ) ارجحیت داشته و زمینه‌های کاربردی و عملی آنها در شرایط خاک‌های آزمایش شده، زیادتر است.

در ادامه بررسی نتایج حاصل از اجرای آزمایش و به استناد ارقام تجزیه شیمیایی نمونه‌های خاک طبقات مختلف که باید به صورت جداولی ارائه شود، می‌توان نسبت به بررسی تغییرات و تحلیل آنها اقدام نمود. ضمن انجام این عمل لازم است مقایسه‌ای نیز بین تغییرات عوامل اندازه‌گیری شده (عوامل اصلی و فرعی) قبل و پس از کاربرد آب آبشویی (یا آب شور و یا به همراه مصرف ماده اصلاح کننده خاک) و به تفصیل تا آخرین عمق نمونه‌برداری از نیمرخ خاک صورت گیرد.

در همین ارتباط، نحوه و چگونگی پراکنش کاتیونها و آنیونهای محلول عصاره اشباع لایه‌های مختلف نیمرخ خاک قبل و بعد از مراحل آبشویی املاح، همچنین کاهش و یا افزایش آنها طی فرآیند آبشویی را می‌توان در سه نمودار^۱ ارائه نمود، تا از طریق آن بتوان علاوه بر آنچه به صورت توصیفی و تفصیلی درخصوص تغییرات شیمیایی خاکها بیان می‌گردد، نوع تغییرات حاصله را نیز مورد قضاوت و بررسی قرار داد.

۱- به نمودارهای ارائه شده در مثالهای عملی پیوست شماره یک مراجعه شود.

در راستای استمرار تحلیل نتایج حاصل از آزمایشهای آبشویی املاح باید نسبت به تهیه و ارائه منحنیهای شوری و سدیم زدایی خاک محلهای مورد آزمایش و به تفکیک هر آزمایش اقدام نمود.

همان طوری که قبلاً بیان شد، در شکلهای قبلی (موارد الف تا ت) تغییرات میزان شوری و یا درصد سدیم تبادلی خاک لایه‌های مختلف به ازای مقادیر متفاوت آب کاربردی (آب آبشویی ناخالص و یا D_w) ارائه می‌گردد. در عمل ممکن است، مقداری از آب کاربردی صرف رفع یا جبران کمبود رطوبت خاک اعماق مختلف گردد و در فرآیند آبشویی موثر نباشد. همچنین کاهش میزان شوری و یا درصد سدیم تبادلی خاک، با مصرف آب آبشویی و به میزان زیاد و حتی در لایه‌های سطحی نیمرخ خاک منجر به حصول تعادل شیمیایی کامل با کیفیت آب آبیاری و یا آبشویی در کوتاه مدت نخواهد شد. بدین معنی که حداقل میزان شوری و یا درصد سدیم تبادلی خاک که به حال تعادل شیمیایی با کیفیت آب کاربردی (با کیفیت مشخص) در می‌آید به جز در خاکهای سبک با شرایط زهکشی بسیار مناسب، در سایر موارد از حداقل $1/5-2/0$ برابر شوری و نسبت جذب سدیم آب آبیاری زیادتر است. اثر عامل اخیرالذکر در منحنیهای مربوط (اشکال موارد ب و ت) ملحوظ نمی‌باشد.

به منظور رفع نقایص یاد شده منحنیهای شوری زدایی و سدیم زدایی خاکها، بر پایه ارقام هدایت الکتریکی عصاره اشباع و درصد سدیم تبادلی خاک و برای اعماق مربوط با استفاده از اطلاعات مندرج در جداول ارائه شده (ارقام نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌های خاک قبل، حین و پس از آبشویی) همین‌طور ارقام تجزیه فیزیکی طبقات خاک ذی ربط برای هر آزمایش به شرح زیر تهیه می‌گردد.

در یک دستگاه مختصات بر روی محور Y ها ارقام مربوط به نسبتهای $(EC_f - EC_{eq} / EC_i - EC_{eq})$ و یا $(ESP_f - ESP_{eq} / ESP_i - ESP_{eq})$ منعکس و بر روی محور X ها ارقام مربوط به نسبتهای مختلف آب آبشویی به عمق خاک (DL_w / D_s) آورده می‌شود که در آن:

EC_f - هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک بعد از کاربرد عمق آب آبشویی مربوط (خالص یا DL_w) بر حسب دسی زیمنس بر متر (dS/m) .

EC_i - هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک قبل از کاربرد عمق آب آبشویی مربوط (خالص یا DL_w) بر حسب دسی زیمنس بر متر (dS/m) .

EC_{eq} - هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک که به حال تعادل شیمیایی با آب آبیاری و یا آبشویی در می‌آید بر حسب دسی زیمنس (dS/m) .

ESP_i - درصد سدیم تبادلی نهایی خاک پس از کاربرد عمق آب آبشویی مربوط (DL_w) .

ESP_i - درصد سدیم تبادلی اولیه خاک قبل از کاربرد عمق آب آبشویی مربوط (DL_w) .

ESP_{eq} - درصد سدیم تبادلی خاک که به حال تعادل شیمیایی با آب آبیاری یا آبشویی در می‌آید.

ارقام ESP_{eq} ، EC_{eq} (شوری و درصد سدیم تبادلی) در واقع کمترین مقادیر شوری و درصد سدیم تبادلی خاکها می‌باشند که در لایه سطحی ($0-5$ سانتیمتری) نیمرخ خاک با استفاده از آب آبیاری یا آبشویی با کیفیت مشخص و موجود حاصل می‌گردند.

DL_w - عمق خالص آب آبخویی و آن میزان آبی است که پس از تأمین کسر رطوبت خاک طبقه مربوط به طریق ثقلی و به صورت تراوشهای عمقی از ستون خاک لایه ذی ربط خارج می‌گردد، بر حسب متر یا سانتیمتر.

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

کاستن مقادیر EC_{eq} و ESP_{eq} از صورت و مخرج کسرهای یاد شده و مربوط موجب خواهد شد تا نتایج حاصل، مستقل از عوامل خارجی مؤثر (از جمله: میزان تبخیر، شرایط زهکشی داخلی خاکها، کیفیت آب آبیاری مورد مصرف و سایر شرایطی که می‌تواند بر روی نتایج اثرگذار باشد) گردد. نظر به این که در ترسیم منحنیهای شوری زدایی و سدیم زدایی خاکها ارقام محاسبه شده (میانگین وزنی) مورد استفاده قرار می‌گیرد، بنابراین ترسیم منحنیهای مربوط به هر عمق به دلیل عدم تفاوت زیاد در چنین شرایطی معمول نمی‌باشد.

در خصوص هر آزمایش (و هر تکرار) لازم است، جداولی مربوط به ارقام محاسبه شده X و Y (که شرح آنها در بالا بیان شد) برای ترسیم منحنیهای شوری و سدیم زدایی خاکهای مورد آزمایش و برای اعماق مربوط تهیه و ارائه شود. براساس ارقام مندرج در این جداول منحنیهای شوری زدایی و سدیم زدایی خاکهای محل مورد آزمایش تهیه و در دو شکل جداگانه باید ارائه گردد.

در مورد کاربرد منحنیهای بیان شده باید متذکر شد که کاربرد آن در محدوده نوع خاک، میزان شوری و درصد سدیم تبدلی اولیه نیمرخ خاک محل اجرای آزمون می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. با استفاده از این منحنیها می‌توان عمق آب مورد نیاز را برای کاهش عملی میزان شوری و یا درصد سدیم تبدلی خاک و برای عمق معینی از لایه خاک برآورد نمود.

مقادیر استخراجی از منحنیهای بالا، نیاز خالص آب آبخویی املاح می‌باشد و به منظور برآورد کل میزان آب کاربردی لازم برای آبخویی نمکهای خاک ضروری است که به مقادیر تبخیر (از سطح آب و خاک) و میزان بارندگی نیز توجه نمود، و این عوامل فراگیر را در محاسبات برنامه‌ریزی آبخویی و اصلاح خاک و اراضی ملحوظ داشت.

موارد کاربرد این منحنیها (شوری زدایی و سدیم زدایی خاکها) در صفحات آتی به صورت مثال عددی ارائه و تشریح شده است.

۵-۵ کاربرد منحنیهای شوری زدایی و سدیم زدایی خاکها

عملیات آبخویی املاح محلول از نیمرخ خاکها را می‌توان به روشهای متنوع و متفاوتی برنامه‌ریزی نمود، لیکن مسأله مهم، تشخیص آن است که اجرای این امر بدون پوشش زراعی و یا همراه با عملیات کشت و کار به انجام برسد.

در شرایطی که جهت آبخوئی مقدماتی به مقادیر قابل توجهی آب آبخوئی^۱ نیاز باشد، موجبات تضعیف قدرت باروری خاک به دلیل از دست رفتن عناصر غذایی با اهمیتی از قبیل: ازت، پتاسیم و غیره فراهم می‌آید. به جهت تقویت و ترمیم درجه حاصل خیزی خاکها و بهبود خواص فیزیکی آنها که پس از یک دوره استغراق از طریق پخش و نگهداری آب به روی سطح اراضی، ویژگیهای فیزیکی خاکها احیاناً نامطلوب خواهد شد، کشت گیاهان خانواده بقولات^۲ توصیه گردیده است. این قبیل گیاهان، نه تنها از نظر بهبود خواص فیزیکی و افزایش قدرت باروری خاکها، بلکه به عنوان گیاهانی که قادر به بازگشت درآمد می‌باشند (از طریق تولید محصول طی دوره اجرای برنامه تناوب اصلاحی خاک) قابل ملاحظه هستند.

عواملی چند در تعیین روش آبخوئی موثر است که از آن جمله می‌توان به ترتیب اهمیت موارد زیر را بر شمرد:

- منابع آب قابل استفاده (سطحی و یا زیرزمینی).
- آثار اجرای یک دوره عملیات آبخوئی املاح محلول بر کاهش درجه حاصل خیزی و باروری خاکها.
- امکانات کاربرد مواد شیمیایی (کودهای معدنی) در منطقه، پس از انجام موارد متذکره.
- درجه مهارت فنی مسئولان اجرایی پروژه و بهره‌برداران.

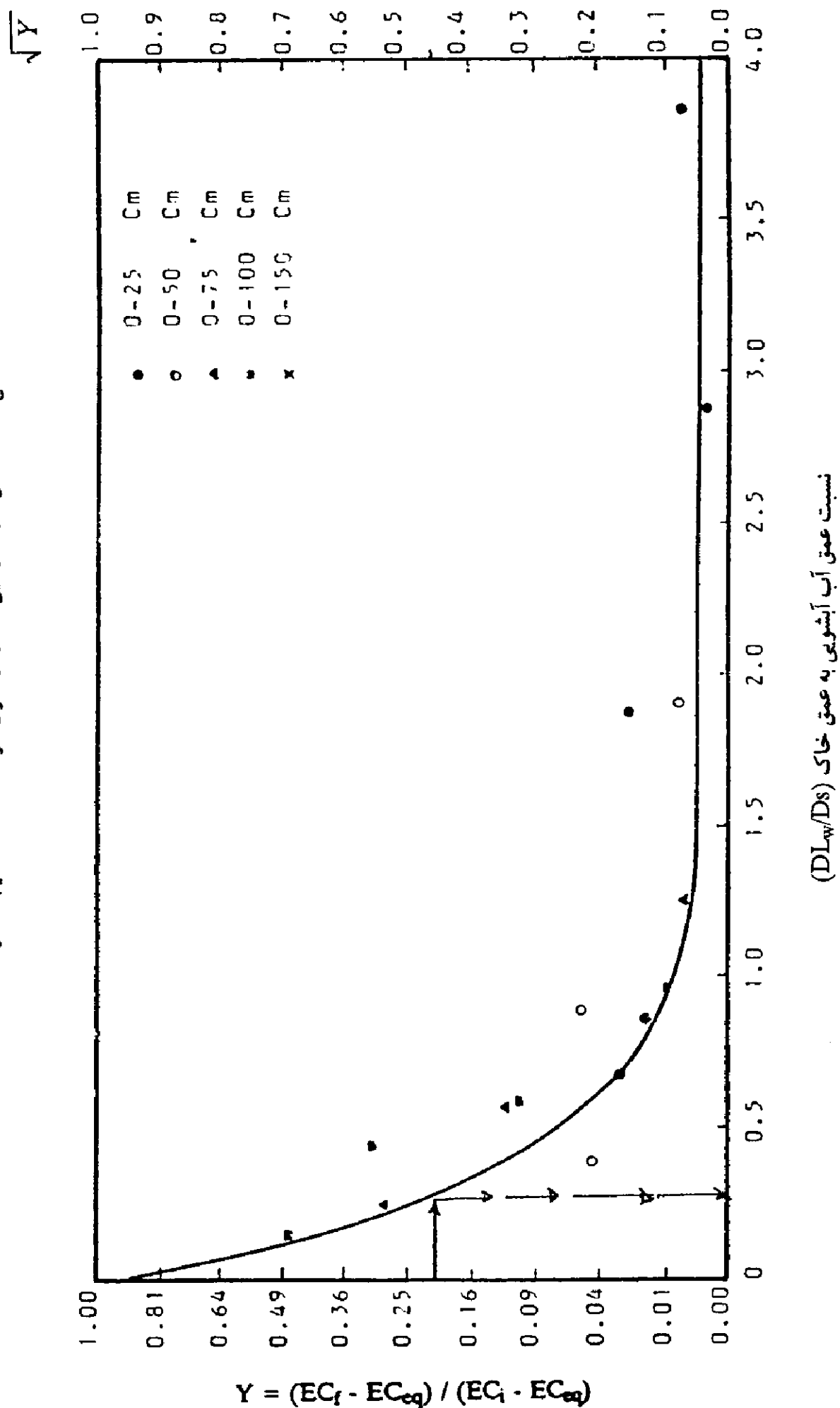
انتخاب روشی مناسب جهت اصلاح عملی خاکها با توجه به موارد بیان شده فوق تشخیص داده خواهد شد. در این راستا کاربرد منحنیهای شوری زدایی و سدیم زدایی خاکها این امکان را فراهم می‌سازد تا بتوان نسبت به تعیین مقدار آب مورد نیاز و زمان لازم جهت انجام امر آبخوئی را از طریق یک برنامه‌ریزی دقیق و احیاناً متنوع به نحوی تدوین نمود که منجر به تکامل برنامه اصلاح خاک و اراضی گردد.

در زیر بر اساس ارقام و اطلاعات موجود از منطقه دشت هندیجان استان خوزستان موارد کاربرد منحنیهای مذکور با ارائه مثال تشریح می‌گردد.

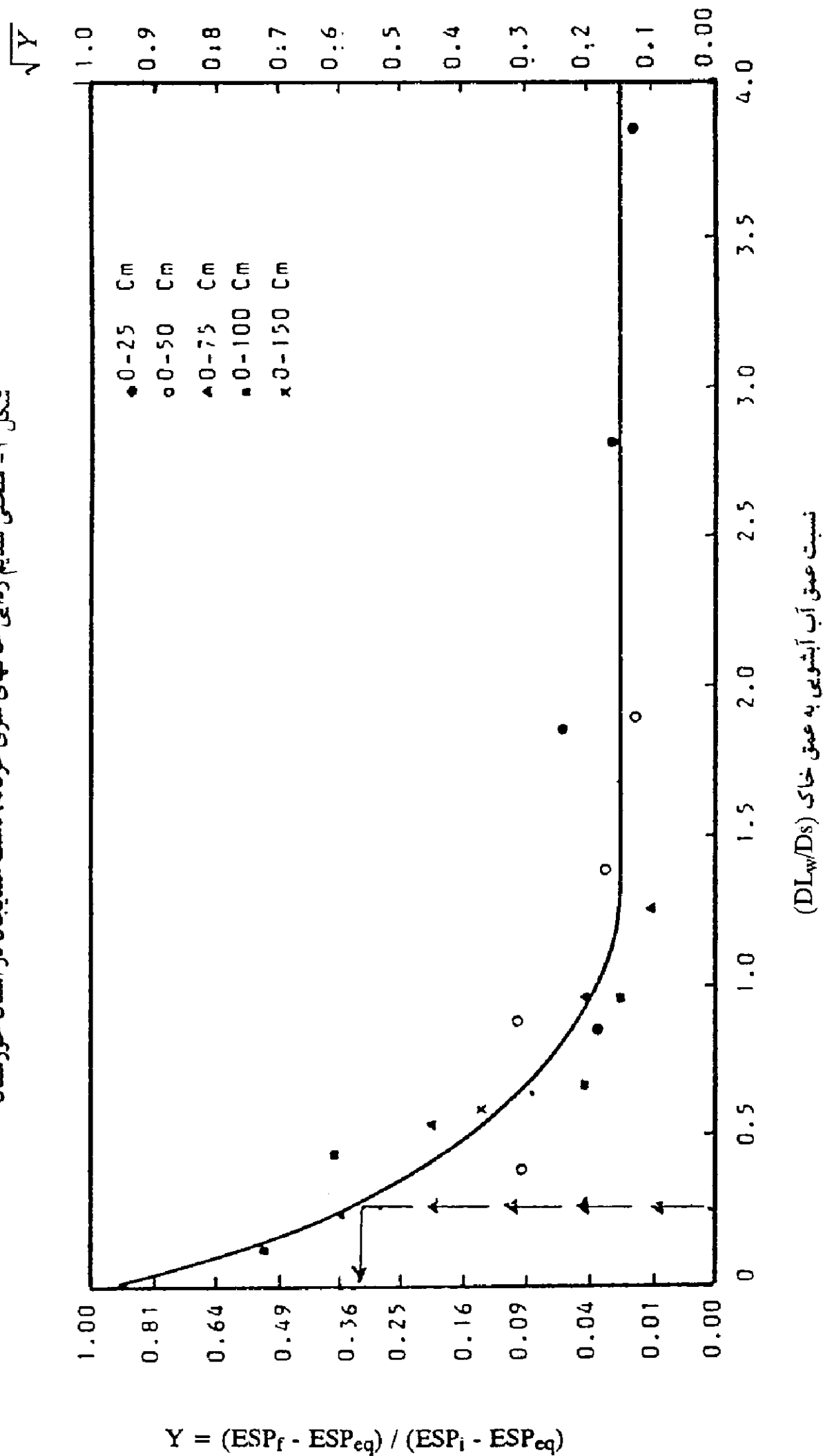
۵-۵-۱ مثال موردی

مساحت قسمتی از دشت هندیجان، استان خوزستان که در این مثال مورد نظر است، بالغ بر ۱۷۶۳۲ هکتار بوده که یکی از سربهای غالب خاک آن به نام گرگانه که در واحد فیزیوگرافی دشت آبرفتی رودخانه‌ای واقع است، مساحتی برابر با ۳۹۵۳ هکتار و یا معادل ۲۲/۴۲ درصد کل اراضی محدوده مورد نظر را داراست. منحنیهای شوری زدایی و سدیم زدایی این سری خاکها که بر اساس آزمایشهای مزرعه‌ای به دست آمده، در شکلهای شماره (۱) و (۲) نشان داده شده است.

شکل ۱- منحنی شوری‌زدایی خاکهای سری غرگانه، دشت هندپجان در استان خوزستان



شکل ۲- منحنی سلیم زدایی خاکهای سری غرگانه، دشت هندیجان در استان خوزستان



بررسی موارد مندرج در متن گزارش اصلی^۱ نمایانگر آن است که طبقه‌بندی خاک محل اجرای این آزمایش قبل از آبخوئی املاح $SeA4$ بوده که بدین ترتیب کیفیت شیمیایی خاک آن را می‌توان بسیار شور و سدیمی قلمداد نمود. با توجه به این که میانگین میزان شوری عصاره اشباع خاک لایه‌های $25-0$ ، $50-25$ و $100-50$ سانتیمتری آن به ترتیب 40 ، 30 و 25 دسی زیمنس بر متر (dS/m) بوده است (بالتبع با درجه سدیمی بودن بالا)، ضرورت اعمال امر آبخوئی در آن مسجل می‌گردد. به نظر می‌رسد که پس از اتمام عملیات آبخوئی مقدماتی املاح محلول^۲ و با توجه به وضعیت منبع آب منطقه، امکان کشت مقدماتی زراعتی مانند جو فراهم گردد. با توجه به این واقعیت که میزان شوری تعادلی خاک لایه‌های سطحی نیمرخ خاک، پس از انجام مراحل آبخوئی حدود 2 دسی زیمنس بر متر (dS/m) گزارش گردیده، ابتدا لازم است که با کاربرد آب آبخوئی میزان املاح اولیه افق $25-0$ سانتیمتری نیمرخ خاک را به برای فراهم آوردن امکان انجام زراعت جو به 10 دسی زیمنس بر متر (dS/m) تقلیل داد. بنابراین با کاربرد شکل شماره (۱) که حاصل از اجرای آزمایش آبخوئی در سری خاک مذکور می‌باشد و برای مقادیر شوری حداکثر $41/4-78/4$ دسی زیمنس بر متر (dS/m) قابلیت کاربرد دارد، می‌توان به شرح زیر عمل نمود. به برای تسهیل در بحث و نتیجه‌گیری، جدول شماره (۵) تهیه و ارائه گردیده است. اضافه می‌نماید ارائه مثال در مورد زراعت یاد شده به دلیل این است که جو در ترکیب کشت پیشنهادی پانزده درصد سهم دارد.

۵-۵-۲ برنامه تناوب زراعی پیشنهادی برای اصلاح خاک و اراضی در مطالعه موردی

چون در ترکیب کشت پیشنهادی تاریخ کشت جو اوایل آذرماه تعیین گردیده، بنابراین برنامه اصلاح خاک و اراضی باید قبل از آن تاریخ پایان یابد. بنابراین با توجه به آنچه قبلاً بیان گردید:

$$Y = \frac{EC_f - EC_{eq}}{EC_i - EC_{eq}} = \frac{10 - 2}{40 - 2} = 0/21$$

$$\sqrt{Y} = 0/46$$

از محل $Y = 0/21$ یا جذر آن یعنی $0/46$ که کاربرد شکل را تسهیل می‌نماید، بر روی محور مربوط خطی به موازات محور X ‌ها رسم نموده که منحنی حاصل را در نقطه‌ای قطع می‌نماید (به شکل ۱ مراجعه شود). از محل نقطه تقاطع و به موازات محور Y ‌ها و بر محور X ‌ها خط عمودی باید رسم گردد و بدین ترتیب محور X ‌ها را در نقطه $DL_w / = 0/25$ قطع می‌نماید.

بنابراین برای عمق خاک مورد نظر ($0/25$ متر) میزان خالص آب لازم برای کاهش مقدار شوری اولیه خاک از 40 به 10 دسی زیمنس بر متر (dS/m) برابر خواهد بود با:

۱- به فهرست منابع مورد استفاده مراجعه شود.

جدول ۵- مقادیر بارندگی، تبخیر و تعرق ماهانه در دشت هندیجان استان خوزستان

(مأخذ: منبع شماره ۶)

ردیف	ماههای سال	بارندگی - میلیمتر			تبخیر از سطح خشک کلاس (A) - میلیمتر	تبخیر و تعرق گیاهی میلیمتر
		میزان کل	مقدار مؤثر ^۱	نفوذ حاصل ^۲ از بارندگی	میزان کل	تعدیل شده ^۳
۱	فروردین	۱۸/۷۴	۱۴/۰۵	۲/۸۱	۱۵۱/۵۰	۱۰۶/۰۵
۲	اردیبهشت	۱۳/۷۶	۱۰/۳۲	۲/۰۶	۲۴۹/۰۰	۱۷۴/۳۰
۳	خرداد	۵/۵۲	۴/۱۴	۰/۸۳	۳۷۸/۵۰	۲۶۴/۹۵
۴	تیر	۰/۱۲	۰/۰۹	۰/۰۲	۵۱۴/۱۰	۳۵۹/۸۷
۵	مرداد	-	-	-	۵۶۵/۲۰	۳۹۵/۶۴
۶	شهریور	-	-	-	۵۴۰/۶۰	۳۷۸/۲۲
۷	مهر	۰/۵۳	۰/۴۰	۰/۰۸	۴۴۲/۳۰	۳۰۹/۶۱
۸	آبان	۶/۵۴	۴/۹۰	۰/۹۵	۳۰۵/۲۰	۲۱۳/۶۴
۹	آذر	۲۶/۰۰	۱۹/۵۰	۳/۹۰	۱۸۵/۰۰	۱۲۹/۵۰
۱۰	دی	۴۸/۹۰	۳۶/۶۷	۷/۳۴	۱۱۰/۴۰	۷۷/۲۸
۱۱	بهمن	۵۰/۸۵	۳۸/۱۴	۷/۶۴	۷۹/۵۰	۵۵/۶۵
۱۲	اسفند	۳۳/۰۱	۲۴/۷۶	۴/۹۵	۹۶/۵۰	۶۷/۵۵

$$DL_w = ۰/۲۵ \times ۰/۲۵ = ۰/۰۶۲۵ \text{ متر} = ۶۲/۵ \text{ میلیمتر}$$

۳۲۱

با توجه به بررسیهای انجام یافته در کشور (استانهای فارس و خوزستان)، میزان تراوشهای عمقی در شرایط غرقاب برابر با حدود ۱/۳ سانتیمتر در روز برآورد گردیده است.

به طوری که قبلاً بیان شد، تاریخ کشت جو در منطقه اوایل آذرماه می باشد و همان گونه که مشخص است، زمان لازم برای نفوذ ۶۲/۵ میلیمتر آب خالص و با توجه به میزان نفوذ عمقی بررسی شده (۱۳ میلیمتر در روز) حداکثر ۵ روز خواهد بود (۱۳ + ۶۲/۵). بنابراین لازم است که برنامه آبیویی املاح در آبان ماه به انجام رسد تا انجام این امر موجب تاخیر در زمان کشت نگردد. طی زمان لازم برای نفوذ آب به خاک (پنج روز)، روزانه و به طور متوسط ۷/۱۲ میلیمتر تبخیر تعدیل شده وجود خواهد داشت^۴.

۱- با احتساب ۷۵ درصد از میزان بارندگی کل ۲- با احتساب ۶۰ درصد از میزان بارندگی غیرمؤثر

۳- با منظورداشتن ۷۰ درصد تبخیر از سطح طشک کلاس (A)

۴- زیرا اجرای برنامه آبیویی در کرت های بزرگ متصور بوده است.

بدین ترتیب کل میزان تبخیر تعدیل شده طی این دوره ۳۵/۶ میلیمتر است (۵×۷/۱۲) و با منظور نمودن ۲۴/۸ میلیمتر آب لازم برای تامین کسر رطوبت خاک تا عمق مورد نظر (با بافت خاک رسی سیلت دار) جمع کل میزان ناخالص آب لازم برای آبیروی املاح اولیه لایه ۰-۲۵ سانتیمتری نیمرخ خاک به حدود ۱۲۲/۹ میلیمتر بالغ می‌گردد (۲۴/۸ + ۳۵/۶ + ۶۲/۵). بنابراین حتی در صورت ضرورت کاربرد ۱۵ سانتیمتر عمق آب آبیروی، امکان انجام برنامه در نیمه دوم آبان ماه نیز فراهم است. بنابراین مراحل آبیروی را می‌توان از روز نوزدهم آبان ماه شروع و خاتمه آن را سی‌ام همان ماه پیش‌بینی کرد.

نظر به این که پس از اتمام مراحل آبیروی مقدماتی، رطوبت خاک طبقه سطحی در حد مطلوبی خواهد بود، بنابراین برای عملیات تهیه بستر بذر، نیاز به کاربرد آب اضافی (به‌عنوان پیش آبیاری^۱) وجود ندارد و پس از گاو رو شدن زمین می‌توان نسبت به تهیه بستر بذر و کشت جو اقدام نمود. به دلیل مساعد بودن نسبی شرایط آب و هوایی منطقه طی زمان کاشت تا برداشت، زراعت جو قادر خواهد بود که از ریزشهای آسمانی حداکثر استفاده را بنماید.

طی دوره رشد و نمو زراعت جو (در اولین سال) میزان شوری در نیمرخ خاک ممکن است تا میزان ۱۶ دسی زیمنس بر متر (ds/m) افزایش یابد^۲ که به برای حفظ و تعادل میزان شوری طی دوره زراعت جو اقداماتی باید صورت پذیرد.

برابر محاسبات به انجام رسیده در زمینه نیاز آبی زراعت جو، این گیاه طی دوره زراعی به ۵۵۰۰ متر مکعب در هکتار (با بازده ۶۵ درصد کاربرد در سطح مزرعه) آب نیاز دارد که از این میزان، طی شش بار آبیاری با تواترهای متفاوت، جمعاً یازده سانتیمتر آن به صورت تراوشهای عمقی از محدوده رشد و توسعه ریشه‌ها خارج خواهد شد.

با بررسی مقدار شوری منبع آب موجود (میزان شوری متوسط سالیانه آب رودخانه زهره) که برابر با ۲/۹۳ دسی زیمنس بر متر می‌باشد، مقدار آب لازم برای کنترل املاح محلول^۳ در نیمرخ خاک برابر با ۰/۵۵ میلیمتر بر روز^۴

1- Pre-irrigation.

۲- حدود مقاومت به شوری زراعت جو طبق اطلاعات مندرج در جداول منابع معتبر ۱۰-۱۶ دسی زیمنس بر متر گزارش شده است. (به منابع و مأخذ ارائه شده مراجعه گردد).

3- LR = Leaching Requirement.

$5500 \text{ m}^3/\text{ha} = 550 \text{ mm}$

۴-

$440 \text{ mm} = (\text{نفوذ عمقی آب آبیاری}) 110 \text{ mm} - 550$

$LR = EC_{iw}/EC_{dw} = 16/0 : 2/93 = 0/183$

میلیمتر در روز ۰/۵۵ = (تعداد روز طول دوره کشت) ۱۵۰ : ۰/۱۸۳ × ۴۴۰

محاسبه شده است (طی دوره زراعت جو، برای کنترل میزان شوری لایه نخست نیمرخ خاک پس از آیشویی مقدماتی و کنترل املاح در سطح ۱۰ دسی زیمنس بر متر). بنابراین پس از برداشت زراعت جو میزان آب نفوذ یافته به ۱۴۵/۰ متر خواهد رسید ($۱۵۰ \times ۰/۵۵ + ۶۲/۵$) و بدین ترتیب میزان شوری متوسط لایه یک متری نیمرخ خاک، ۱۸/۰۵ دسی زیمنس بر متر برآورد می‌گردد^۱ (شکل شماره ۱).

بنابراین عملاً میزان آب نفوذ یافته (با منظور نمودن مقدار آب آیشویی مقدماتی) به ۱۷۵/۰ متر بالغ خواهد شد. ($۱۱۰ + ۶۲/۵$) در حالی که مقدار اخیر به کار رود میزان شوری نیمرخ خاک به طور متوسط به ۱۵/۶۸ دسی زیمنس بر متر خواهد رسید که بالطبع مقدار آن در لایه‌های فوقانی نیمرخ خاک می‌تواند به مراتب کمتر باشد (شکل شماره ۱).

با توجه به مقدار تراوشهای عمقی حاصل از امر آبیاری که مقدار آن برابر با ۱۱ سانتیمتر طی دوره زراعت جو و به طور متوسط حدود ۷۳/۰ میلیمتر در روز است ($۱۵۰ : ۱۱۰$)، مشخص می‌شود که مقدار اخیر بیش از ۲۳/۱ برابر کسر آیشویی مورد نیاز (LR) است ($۵۵/۰ : ۷۳/۰$). بنابراین ملاحظه می‌گردد که در چنین شرایطی، نیاز به اعمال کسر آیشویی املاح (نیاز آیشویی) در برنامه‌ریزیهای آبیاری نمی‌باشد. لازم به توضیح است که این موارد بدون احتساب ۶۶/۲ سانتیمتر نفوذ عمقی خالص حاصل از نزولات آسمانی در نظر گرفته شده است (جدول ۵). در حالی که مقدار اخیر را نیز منظور نماییم، کسر آیشویی واقعی املاح محلول از نیمرخ خاک طی دوره زراعت جو به ۹۲/۰ میلیمتر در روز می‌رسد که شرایط مطلوبتری را حاصل می‌نماید ($۱۵۰ : ۱۱۰ + ۲۶/۶$).

در خصوص کاربرد منحنی سدیم زدایی خاکهای مورد بررسی (منحنی شماره ۲) باید متذکر گردید که موارد استفاده از آن دقیقاً همانند آن است که فوقاً و به تفصیل در مورد کاربرد منحنی شوری زدایی خاکهای بیان گردید. به عنوان مثال در صورتی که در مرحله مقدماتی آیشویی، عمق آب مورد نیاز ۶۲۵/۰ متر و نسبت $DL_w / DS = ۰/۲۵$ تعیین گردیده باشد، در حالی که میزان درصد سدیم تبدلی لایه ۰-۲۵ سانتیمتری نیمرخ خاک را ۴۰ و حد نهایی و تعادلی مقدار درصد سدیم قابل تعویض خاکهای منطقه ۳/۷۵۱ منظور نماییم، با استفاده از شکل مذکور ملاحظه خواهد شد که میزان درصد سدیم تبدلی خاک لایه فوق‌الذکر به ۱۶/۸ نقصان خواهد یافت و مشابه آنچه در مورد کاهش شوری پس از دوره زراعت جو بیان گردید، در صورت مناسب بودن شرایط زهکشی خاکها و با نفوذ زیادتر و کاربرد بیشتر آب آیشویی و با توجه به مطالعات به انجام رسید، حد نهایی و تعادلی میزان درصد سدیم تبدلی به رقم فوق‌الذکر حدوداً خواهد رسید.

۱- میانگین وزنی هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک طبقه ۰-۱۰۰ سانتیمتری نیمرخ خاک قبل از انجام آیشویی املاح معادل ۳۰ دسی زیمنس بر متر بوده است.

نظر به این که از جمله نکات بسیار با اهمیت در بهره‌وری از اراضی تازه اصلاح شده آن است که در سالهای اولیه، به خصوص در اولین سال، سطح مزرعه تحت هیچ شرایطی در ماههای گرم سال (عمدتاً از ماه دوم بهار تا اولین ماه پاییز)، نباید بدون پوشش (عمدتاً زنده زراعی و یا مالچ گیاهی، به دلیل جلوگیری از رجعت شوری خاک) باقی بماند و این موضوع در منطقه مذکور از زمان برداشت جو تا کشت مجدد زراعات شتوی صادق است. بدین دلیل درخصوص برنامه اصلاح خاک و اراضی پیشنهادی، توصیه می‌نماید که کلش زراعت جو طی زمان برداشت و تابستان بر روی سطح اراضی به دلیل آثار مثبت آن در تعدیل تبخیر از سطح خاک بدون زراعت (آیش تابستانه) باقی بماند و از برداشت کلش تا قبل از اواسط فصل پاییز خودداری گردد. بدین ترتیب با ملاحظه آنچه به تفصیل بیان شد، ملاحظه می‌گردد که برنامه تناوب زراعی پیشنهادی اصلاح خاک و اراضی در شرایط مشروحه فوق مشتمل بر «آبشویی مقدماتی و انجام زراعت جو در استمرار امر آبشویی املاح محلول از نیمرخ خاک» می‌تواند مقدماتاً مورد توجه و برنامه‌ریزی قرار گیرد.

در خاتمه این بحث لازم است متذکر شود، چنانچه اعمال دقیق موارد فوق رعایت شود، با توجه به آن که انجام مراحل آبشویی در اراضی مجهز به سیستم زهکشی سطحی و زیر زمینی صورت می‌گیرد، پیش‌بینی رجعت چشمگیر شوری در اراضی مربوط مورد انتظار نیست. دلیل این امر را می‌توان به پایین افتادن سطح ایستابی و نقصان آثار خیزش موئینه‌ای از سفره آب زیرزمینی و وجود مالچ بر روی سطح اراضی دانست. به علاوه با توجه به شرایط اقلیمی منطقه در پاییز، تهیه بستر بذر بدون انجام امر آبیاری مقدماتی مقدور نبوده و یا عملاً غیر ممکن است، بنابراین با اعمال یک دوره آبیاری نسبتاً سنگین برای تهیه بستر بذر، موارد تعدیل شوری باقی مانده و یا تراکم یافته نیز ملحوظ بوده و در این قبیل اراضی می‌توان به کشت گندم، جو و یا سایر نباتات پیش‌بینی شده در ترکیب کشت پیشنهادی اقدام نمود. لازم به تذکر است که انتخاب قطعی نوع زراعت بستگی به میزان شوری خاک پس از دوره آیش تابستانه و میزان آب کاربردی مجدد خواهد داشت که تعیین این موارد با توجه به مثال ارائه گردیده کاملاً عملی به نظر می‌رسد.

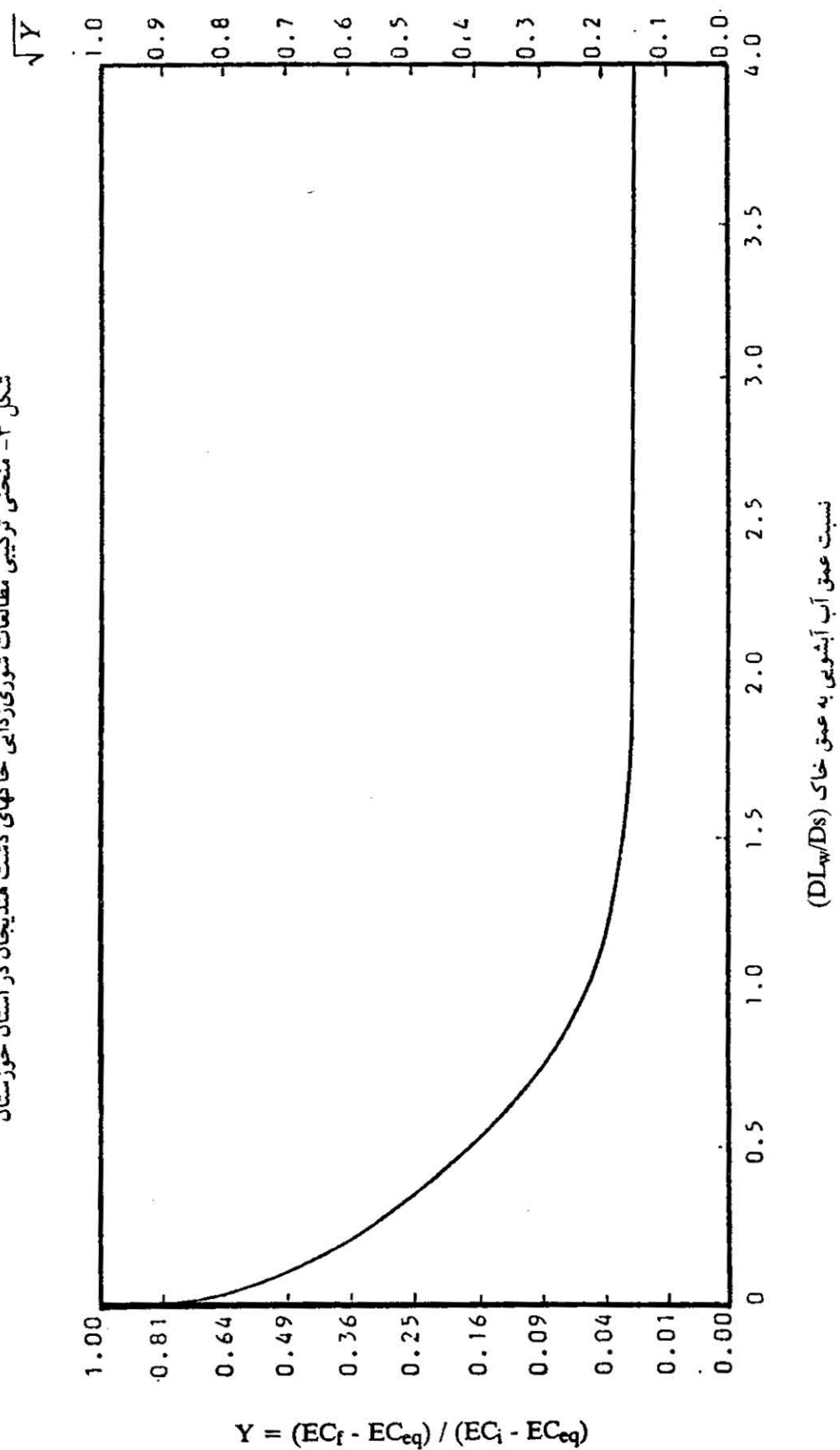
به هر حال، چنین می‌توان اظهار داشت که شرط موفقیت در بقای میزان حاصلخیزی خاک و جلوگیری از شور شدن مجدد اراضی تازه اصلاح شده، در گرو مدیریت صحیح در بهره‌برداری از منابع خاک و آب (به خصوص در شرایط خاص اقلیمی منطقه مطالعه موردی) می‌باشد. بنابراین بررسی بیلان تعادلی توازن آب و املاح همواره مورد نیاز خواهد بود.

آنچه در بالا بیان شد، مثالی در شرایط خاص منطقه دشت هندیجان، استان خوزستان بود. در شرایط دیگری برای اراضی بخشهای مرکزی و جنوبی جلگه خوزستان برنامه‌های پیشنهادی تناوب زراعی برای اصلاح خاک و اراضی مشتمل بر «آبشویی مقدماتی، کشت برنج و زراعت جو و یا آبشویی مقدماتی کشت برنج و زراعت شبدر بوده است.»

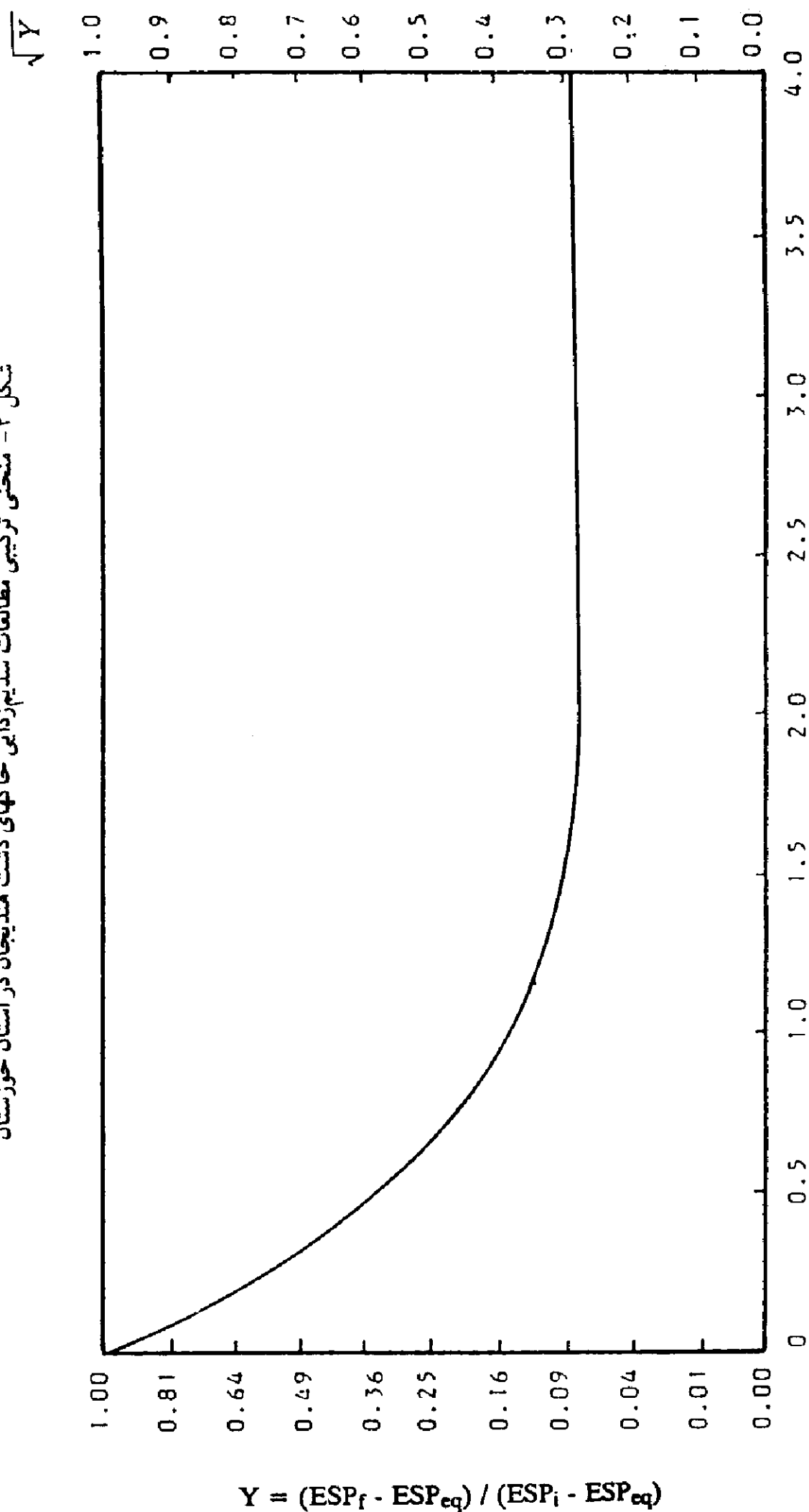
۵-۶ منحنی آبشویی املاح از نیمرخ خاکها

در مطالعات اصلاح خاک معمولاً چنین مرسوم است که منحنیهای حاصل از اجرای آزمایشهای شوری زدایی و سدیم زدایی خاکها را که در سریهای مختلف (و یا فازهای متفاوت یک سری) در محدوده مطالعاتی و در یک واحد فیزیوگرافی به انجام رسیده باشند، ضمن مقایسه، با هم ترکیب و به شکل منحنیهای واحدی برای منطقه مورد بررسی ارائه می نمایند. اعمال این مطلب در خصوص خاکهای منطقه مورد نظر (منطقه دشت هندیجان، استان خوزستان) منتج به تهیه اشکال شماره (۳) و (۴) گردیده است.

شکل ۳- منحنی ترکیبی مطالعات شوری‌زدایی خاکهای دشت هندیجان در استان خوزستان



شکل ۴- منحنی ترکیبی مطالعات سدیم زدایی خاکهای دشت هندیجان در استان خوزستان



نسبت عمق آب آشویی به عمق خاک (DL_w/D_s)

مقایسه اشکال فوق‌الذکر نشان می‌دهد که فرایندهای شوری زدایی و سدیم زدایی خاکها در منطقه مورد مطالعه تا حدودی با یکدیگر هماهنگ می‌باشند. در نتیجه می‌توان بیان داشت که در خاکهای منطقه مورد مطالعه، تراکم بیش از حد املاح محلول در نیمرخ خاکها که انواع آن را بیشتر نمکهای سدیم تشکیل می‌دهند، موجب بالا رفتن درصد سدیم تبدیلی خاک می‌گردد. در نتیجه به شرط ایجاد سیستم زهکشی زیرزمینی و بهبود شرایط فیزیکی و زهکشی طبیعی خاک، مقادیر قابل توجهی از املاح محلول را می‌توان به وسیله آبشویی از محدوده رشد ریشه گیاهان خارج نمود که در نتیجه آن، کاهش در میزان سدیمی بودن خاک نیز به وقوع خواهد پیوست و در صورت وجود یا تامین یون کلسیم لازم در خاک، امکان گرایش کیفیت خاکها به سمت سدیمی شدن پس از انجام آبشویی املاح محتمل به نظر نمی‌رسد.

به علاوه به علت ضرورت‌های کاربردی، تخصصی و تکمیلی می‌توان نسبت به تعریف ریاضی اشکال فوق‌الذکر نیز اقدام نمود. در مورد منحنی شوری زدایی خاکهای منطقه مورد بحث، نتیجه اقدامات منجر به حصول رابطه مربوط به فرم هوموگرافیک^۱ به شرح زیر است.

$$Y = A + \frac{B}{X} \quad (19)$$

که در آن :

$$X = \frac{DL_w}{Ds}, Y = \frac{EC_f - EC_{eq}}{EC_i - EC_{eq}}$$

A و B ضرایب ثابتی هستند که مقادیر آنها به ترتیب برابر با ۰/۱۰۷۵۴ و ۰/۱۶۴۷ است. سایر علائم به کار رفته معانی قبلی را دارا هستند، بدین ترتیب:

$$Y = \frac{0/01647}{(DL_w / Ds)} + 0/010754 \quad (20)$$

و یا

$$Y = 0/01647 (Ds / DL_w) + 0/010754 \quad (21)$$

و ضریب همبستگی ارقام در سطح ۱٪ معنی‌دار بوده است ($r = 0/832$).

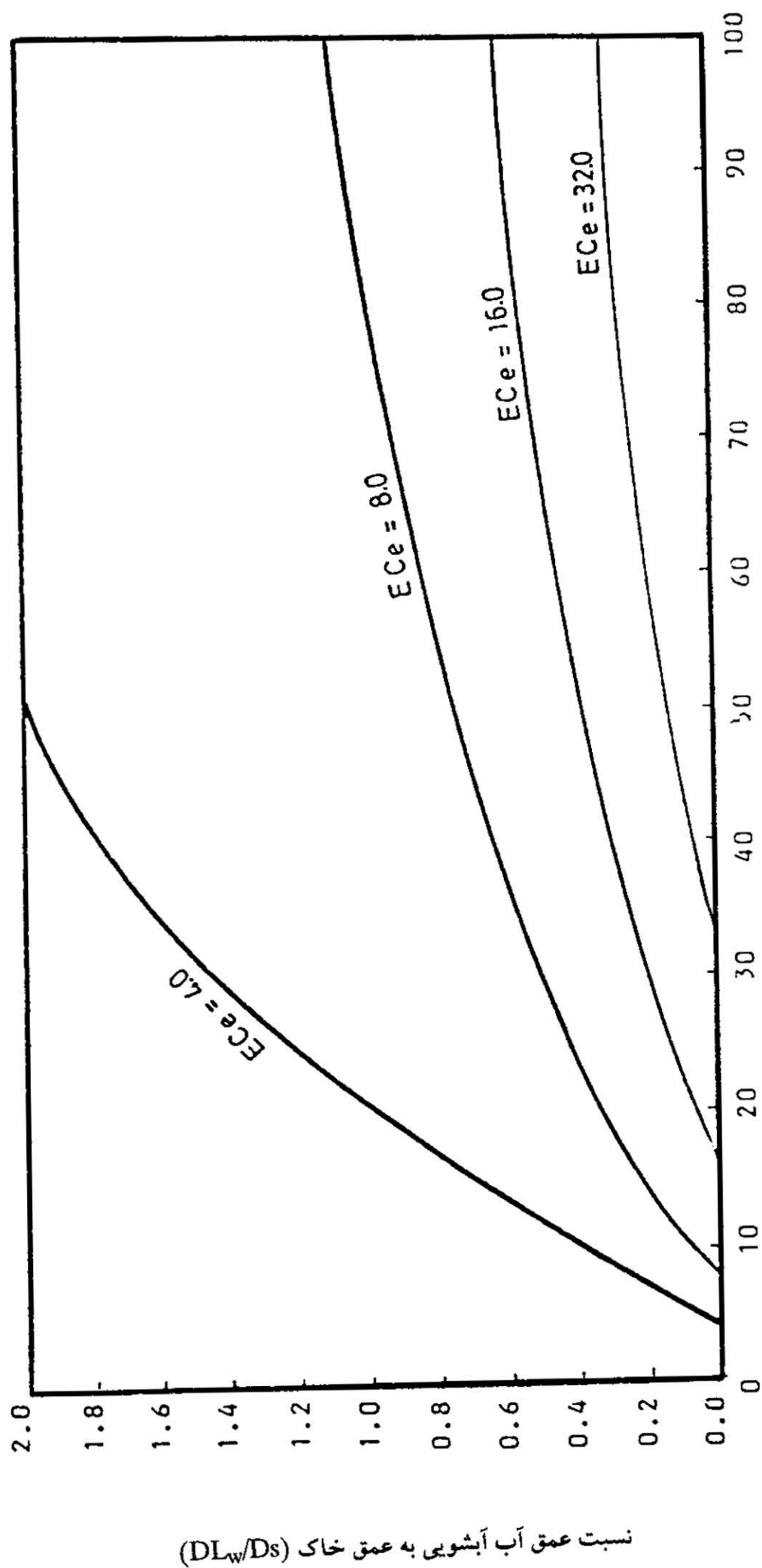
به هر حال، برای سهولت در برآورد آب مورد نیاز آبشویی، می‌توان اقدام به تهیه منحنی آبشویی املاح محلول از نیمرخ خاکهای منطقه مورد بررسی نیز نمود. بدین طریق که عمق آب آبشویی به عنوان تابعی از شوری خاک، قبل از اعمال

1- Hyperbolic

مراحل آبشویی املاح و برای سطوح شوری $32/0$ ، $16/0$ ، $8/0$ ، $4/0$ دسی زیمنس بر متر بعد از انجام امر آبشویی منظور می‌گردد. بدین ترتیب با تعیین میزان هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک و اخذ تصمیم در مورد سطوح شوری مورد نظر و با انتخاب ضخامت لایه‌ای از خاک که اصلاح آن مورد نظر است، می‌توان مقدار عمق آب آبشویی مورد نیاز را برآورد نمود. نتایج حاصله که براساس منحنی شوری زدایی منطقه دشت هندیجان به انجام رسیده است، در شکل شماره (۵) ارائه شده است.

ضمناً علاوه بر شکل فوق، استفاده مستقیم از منحنی شوری زدایی خاکهای منطقه و بهره‌گیری از معادلات بیان شده قبلی نیز می‌تواند منظور را عملی نماید. با این حال برای تسهیل در برآورد و قضاوت در خصوص مقادیر آب لازم (خالص) برای کاهش مقادیر شوری کلاسهای مختلف خاک و اراضی در طبقات مختلف نیمرخ خاکهای منطقه، جدول شماره (۶) نیز تهیه و به‌عنوان راهنما ارائه شده است.

شکل ۵- منحنی آبشویی املاح محلول از نیمرخ خاکهای دشت هندیجان در استان خوزستان



جدول ۶- مقادیر آب لازم (خالص DL_w) برای کاهش مقادیر شوری کلاسه‌های مختلف خاک در اعماق مربوط

در آزمایش‌های اصلاح خاک و اراضی دشت هندیجان - استان خوزستان

(محاسبه شده بر مبنای مندرجات منبع شماره ۶)

میزان آب لازم برای آبشویی اعماق موردنظر خاک برحسب سانتیمتر در کلاسه‌های متفاوت شوری پیش از آبشویی																
S _۱				S _۲				S _۳				S _۴				کلاسه‌های شوری خاک پس از آبشویی
عمق خاک - سانتیمتر				عمق خاک - سانتیمتر				عمق خاک - سانتیمتر				عمق خاک - سانتیمتر				
۰-۲۵	۰-۵۰	۰-۱۰۰	۰-۱۵۰	۰-۲۵	۰-۵۰	۰-۱۰۰	۰-۱۵۰	۰-۲۵	۰-۵۰	۰-۱۰۰	۰-۱۵۰	۰-۲۵	۰-۵۰	۰-۱۰۰	۰-۱۵۰	
۲۷۰	۱۸۰	۹۰	۴۵	۱۸۰	۱۲۰	۶۰	۳۰	۱۲۰	۸۰	۴۰	۲۰	۶۰	۴۰	۲۰	۱۰	S _۰
۹۶	۶۴	۳۲	۱۶	۷۸	۵۲	۲۶	۱۳	۳۰	۲۰	۱۰	۵	-	-	-	-	S _۱
۴۲	۲۸	۱۴	۷	۲۴	۱۶	۸	۴	-	-	-	-	-	-	-	-	S _۲
۱۲	۸	۴	۲	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S _۳

شرح علایم

$$S_0 = EC_e < 4/0 \quad dS/m$$

$$S_1 = EC_e 4 - 8 \quad dS/m$$

$$S_2 = EC_e 8 - 16 \quad dS/m$$

$$S_3 = EC_e 16 - 32 \quad dS/m$$

$$S_4 = EC_e > 32 \quad dS/m \quad (\text{در محاسبات جدول فوق میزان } S_4 \text{ معادل } EC_e = 50/0 \text{ دسی‌زیمنس بر متر } dS/m \text{ منظور گردیده است}).$$

۶- مدل‌های نظری^۱ آبشویی املاح محلول از نیمرخ خاکها

در طرح‌های مطالعاتی، بررسی امکانات اصلاح فیزیکی - شیمیایی خاکهای شور و سدیمی، تعیین میزان آب لازم برای آبشویی املاح محلول از نیمرخ خاکهای مبتلا به با اهمیت تلقی می‌گردد. در بررسیهای جاری و متداول، با کاربرد مقادیر متفاوت آب آبشویی و تهیه نمونه های متعدد آب، خاک و زه آب تغییرات میزان املاح مورد بررسی قرار می‌گیرد. اجرای این روشها که مرسومترین شیوه در اصلاح و بهسازی خاکهای یاد شده می‌باشد، مستلزم صرف وقت، هزینه زیاد و آزمایشهای صحرایی است. در دهه‌های اخیر محققان متعددی با بررسی و شناخت فرآیندهای فیزیکی - شیمیایی که در آبشویی و انتقال املاح محلول موثرند، مدل‌هایی که مبتنی بر روابط بین متغیرهای مربوطه می‌باشد را به صورت معادلات ریاضی، روابط نظری و تجربی ارائه نمودند.

در این قبیل مدلها (نظری) تغییرات میزان شوری خاک به ازای کاربرد مقادیر معین آب (آبشویی) با کیفیت مشخص قابل پیش‌بینی می‌باشد. در یک مدل مناسب می‌توان عملیات مدیریتی مختلف را در آبشویی املاح محلول اعمال و نتایج حاصله را مقایسه و آنها را برای مطالعات بعدی و یا بررسی فرآیندهایی که در ساختار مدل گنجانیده نشده اند، اعمال، اصلاح و یا تعدیل نمود.

در این مبحث و با توجه به هدفهای تهیه و تدوین این دستورالعمل، شرحی اجمالی و در حد آشنایی در خصوص تعدادی از مدل‌های معروف و کارآمد "نظری آبشویی املاح محلول از نیمرخ خاکها" ارائه می‌گردد. همچنین در انتهای این فصل نیز موارد مختصری در مورد "ضریب بازده آبشویی"^۲ املاح به برای آشنایی با مفاهیم و ضرورت توجه به آن ارائه شده است. شرح تفصیلی موارد مندرج در این مبحث با مراجعه به منابع فارسی شماره‌های ۴، ۹، ۱۰ و منابع انگلیسی شماره‌های ۱۳، ۱۴ و ۲۱ قابل دسترسی و بهره‌برداری کامل است.

۶-۱ مدل مخزن منفرد^۳

در این مدل خاک بعنوان مخزنی به حجم (V) فرض می‌گردد که دارای فاز مایعی (میزان رطوبت یا محلول خاک) با غلظت اولیه C_0 می‌باشد. طی فرآیند آبشویی، محلول خاک به تدریج توسط آب آبشویی با غلظت C_i جایگزین می‌شود. طی این جایگزینی، دو حالت کلی زیر می‌تواند متصور باشد:

- هیچ گونه اختلاطی بین آب آبشویی و محلول خاک صورت نپذیرد و محلول خاک به وسیله محلول جایگزین شونده (آب آبشویی) و با سرعتی معادل Q (میزان جریان عبوری از مخزن) جایگزین شود که چنین حالتی را

1- Theoretical Models

2- Leaching Efficiency Coefficient

3- Single Reservoir Model

جریان پیستونی^۱ نیز می نامند. در این نوع جریان (پیستونی) در زمان $T = V/Q$ تمامی حجم محلول خاک (مخزن) به وسیله محلول جایگزین شونده یا آب آشفوی جایگزین می گردد و غلظت زه آب خروجی C_R از انتهای مخزن به طور ناگهانی از $C_R = C_o$ در زمان t_1 یا $(t_1 = t_o)$ به $C_R = C_i$ در زمان $t_2 = t_o + T$ تغییر خواهد نمود. از آن جایی که پدیده آشفوی املاح محلول از محیط متخلخل^۲ خاک ضمن فرآیندهای پیچیده فیزیکی و شیمیایی به وقوع می پیوندد و به دلیل تفاوت در اندازه خلل و فرج سرعت جریان آب در خاک یکنواخت نیست، لذا جریان پیستونی در خاکها به ندرت اتفاق می افتد.

- در فرآیند جایگزینی محلول خاک به وسیله آب آشفوی (یا محلول جایگزین شونده) اختلاط دو محلول در مخزن به وقوع می پیوندد که آن را جایگزینی اختلاط پذیر^۳ می نامند. در این حالت املاح محلول تحت دو فرآیند انتقال^۴ (انتشار^۵) توده ای^۶ و پخشیدگی^۷، حرکت توامان یا جابه جایی حاصل می نمایند. با فرض اختلاط کامل بین محلول خاک و مایع جایگزین شونده (آب آشفوی) و ثابت بودن حجم مایع درون مخزن طی فرآیند جایگزینی، معادله بیلان املاح را به صورت زیر می توان ارائه نمود.

$$C_i \cdot Q \cdot dt = C_R \cdot Q \cdot dt + V \cdot dC \quad (22)$$

که در آن :

C : متوسط غلظت املاح محلول و موجود در مخزن، گرم بر لیتر یا میلی گرم بر سانتیمتر مکعب،
 C_i : غلظت املاح ورودی (غلظت املاح موجود در آب آشفوی یا محلول جایگزین شونده)، گرم بر لیتر یا میلی گرم بر سانتیمتر مکعب،

C_R : غلظت املاح خروجی، گرم بر لیتر یا میلی گرم بر سانتیمتر مکعب،
 t : زمان، ثانیه،

Q : میزان جریان عبوری (یا ورودی)، سانتیمتر مکعب بر ثانیه،

V : حجم مخزن، سانتیمتر مکعب.

در این بیلان فرض شده است که فعل و انفعالاتی نظیر ترسیب^۸ و یا انحلال مجدد^۹ املاح به وقوع نمی پیوندد.

1- Piston Flow

2- Porous Media

3- Miscible Displacement

4- Convection

5- Dispersion

6- Mass Transport

7- Diffusion

8- Salt Precipitation

9- Dissolution

با اختلاط و یا امتزاج کامل محلول خاک با آب آیشویی شرایط $C_r = C$ فراهم آمده که با قراردادن آن در معادله شماره (۲۲) و مرتب نمودن آن، معادله زیر حاصل می‌گردد.

$$\frac{dC}{C-C_i} = -\frac{Q}{V} \cdot dt \quad (23)$$

حل معادله فوق (انتگرال گیری) برای حدود $C=C_o$ در زمان $t=0$ و $C=C_{tt}$ در زمان t به صورت زیر است.

$$C_t = C_i + (C_o - C_i) e^{-t/T} \quad (24)$$

که در آن :

C_t غلظت املاح در جریان خروجی از مخزن (خاک) در زمان t می‌باشد.

با توجه به آنچه بیان گردید، ملاحظه می‌شود که به دلیل عدم اختلاط کامل املاح موجود در محلول خاک و آب آیشویی کاربردی، مدل فوق نمی‌تواند بیان کننده شرایط واقعی فرآیند آیشویی املاح و تغییرات غلظت آنها در خاکها باشد.

۲-۶ مدل مخزن منفرد با مجرای فرعی^۱

از آنجایی که عملاً در خاکهای تحت آیشویی و یا آبیاری، اختلاط کامل بین آب آیشویی و محلول خاک غیر محتمل به نظر می‌رسد، در نتیجه ملاحظه می‌گردد که بخشی از آب کاربردی (آیشویی) بدون اختلاط با محلول خاک از درون خلل و فرج، درز و ترکهای موجود در خاک عبور نموده و به دلیل عدم اختلاط با محلول خاک، در فرآیند آیشویی نقش موثری ندارد. بدین ترتیب با در نظر گرفتن بخشی از آب آیشویی (به نسبت f که همان ضریب بازده آیشویی است) که با محلول خاک اختلاط یافته و از منطقه توسعه ریشه (عمق مورد نظر برای اصلاح و آیشویی خاک) عبور نماید، مدل مخزن منفرد با معبر (مجرای) فرعی برای ملحوظ داشتن و بیان دقیقتر فرآیند آیشویی املاح در خاکها پیشنهاد شده است. معادله بیان املاح در این مدل به شرح زیر است.

$$C_i \cdot Q \cdot dt = Q \cdot dt [f \cdot C + (1-f)C_i] + V \cdot dc \quad (25)$$

در نتیجه :

$$\frac{dC}{C-C_i} = -\frac{f \cdot Q}{V} \cdot dt \quad (26)$$

حل معادله فوق (انتگرال گیری) برای حدود $C=C_0$ در زمان $t=0$ و $C=C_t$ در زمان t به صورت زیر است :

$$C_t = C_i + (C_0 - C_i) e^{-f \cdot t / T} \quad (27)$$

که در آن :

f ضریب بازده آبشویی و C_t غلظت املاح در جریان خروجی از مخزن (خاک) در زمان t و سایر علائم معانی پیشین را دارا هستند.

متذکر می‌گردد که در مطالعات شوری زدایی خاکها از مدل مخزن منفرد با مجرای فرعی به عنوان مبنای بررسیهای بیلان املاح استفاده می‌شود. قابل ذکر است که بخشی از آب آبشویی یا ورودی به میزان $(1-f)$ ، با غلظتی معادل آب آبشویی (C_i) و بدون داشتن نقش قابل توجهی در امر آبشویی از معابر یا مجاری فرعی می‌گذرد.

۳-۶ مدل سری مخازن^۱

بررسی دقیق فرآیند آبشویی املاح محلول در محیط متخلخل و ناهمگن خاک نمایانگر آنست که اختلاط و امتزاج کاملی بین محلول خاک و آب آبشویی (کاربردی) در لایه های مختلف نیمرخ خاک عملاً دور از واقعیت باشد. بنابراین عمق موثر اختلاط آب و محلول خاک محدود است. به منظور ملحوظ نمودن دامنه این محدودیتها در محاسبات و تعدیل نتایج حاصله، مدل نظری سری مخازن توسعه و تکامل یافته است.

در این مدل، منطقه رشد ریشه گیاه به چهار لایه تقسیم بندی گردیده و هر لایه به عنوان یک مخزن در نظر گرفته شده است. به طوری که در مخزن نخست، آن بخش از آب آبشویی که وارد مخزن می‌شود با محلول موجود در مخزن اختلاط یافته و فرآیند آبشویی املاح در آن صورت می‌گیرد. زه آب خروجی از مخزن اول به عنوان آب آبشویی ورودی به مخزن دوم محسوب می‌شود. بنابراین هر مخزن (لایه خاک) آب آبشویی را از لایه یا مخزن فوقانی دریافت می‌دارد و این در شرایطی است که به تدریج از میزان آب آبشویی کاسته شده و بالعکس غلظت املاح محلول در آن افزایش می‌یابد. در این مدل همچنین فرض می‌شود که حرکت توأمان آب و املاح در هر مخزن از حد رطوبت ظرفیت مزرعه به بعد شروع گردیده، و حجم آب درون هر لایه طی فرآیند های انحلال و شستشوی املاح ثابت می‌باشد.

حل معادله شماره (۲۶) برای شرایط انتگرال گیری $C=C_0$ در زمان $t=0$ و $C=C_1$ در زمان t به صورت زیر است:

(معادله بیلان املاح برای لایه نخست خاک مد نظر است).

$$C_1 = C_i + (C_0 - C_i) e^{-f \cdot t / T} \quad (28)$$

که در آن :

C_o : غلظت اولیه املاح محلول خاک، گرم بر لیتر یا میلی گرم بر سانتیمتر مکعب،
 C_i : غلظت املاح خروجی از مخزن اول (ورودی به مخزن دوم)، گرم بر لیتر یا میلی گرم بر سانتیمتر مکعب،
 T : زمان توقف^۱ محلول در مخزن که مقدار آن برابر با V/Q می باشد، ثانیه،
 C_i : غلظت آب ورودی به مخزن اول، گرم بر لیتر یا میلی گرم بر سانتیمتر مکعب.
 f و t نیز قبلاً تعریف شده اند.

با استفاده از اصل انطباق لایه ها بر روی هم، غلظت جریان خروجی از لایه های دوم، سوم و چهارم به روش مشابه به دست می آید. بنابر این غلظت املاح در لایه n ام با معادله کلی زیر تعیین می گردد.

$$C_N = C_i + (C_o - C_i) e^{-f \cdot t / T} \sum_{n=0}^{N-1} \left[1 + \frac{f \cdot t \cdot n}{n! T} \right] \quad (n! = 1 \times 2 \times 3 \times \dots \times n) \quad (29)$$

در معادله فوق غلظت اولیه املاح در تمامی لایه های خاک یکسان (توزیع یا پراکنش یکنواخت شوری در طبقات مختلف نیمرخ خاک) فرض شده است. هرگاه غلظت اولیه املاح (C_o) لایه های خاک متفاوت باشد (توزیع یا پراکنش غیر یکنواخت شوری در لایه های مختلف نیمرخ خاک) به جای C_o از C مربوطه به هر لایه استفاده به عمل می آید.

۴-۶ مدل نظری ستون پیوسته خاک^۲

در این مدل نیمرخ خاک به صورت ستون پیوسته ای^۳ در نظر گرفته می شود که اختلاط آب آبهویی و محلول خاک در هر عمقی از آن می تواند صورت گیرد، لیکن دامنه اختلاط مؤثر محدود می باشد. تطبیق و کاربرد آن برای آبهویی املاح خاک منجر به حصول معادله زیر گردیده است.

$$\left[\frac{\partial q}{\partial v} \right]_{Ds} + \left[\frac{\partial C}{\partial Ds} \right]_v - K \left[\frac{\partial^2 C}{\partial Ds^2} \right]_v = 0 \quad (30)$$

که در آن:

q ، میزان یونهای جذب شده به وسیله ذرات خاک و در حالت تعادل با محلولی به غلظت C ،
 Ds ، عمق خاک (از مبنای سطح خاک)، و
 K ، نصف طول موثری که اختلاط در آن به انجام می رسد.

1- Time of Residence

2- Theoretical Plate Thickness Model

3- Continuous Column

حل معادله شماره (۳۰) برای بیان فرآیند شوری زدایی نیمرخ خاک همگن به صورت زیر است:

$$C - C_i = \frac{1}{\gamma} (C_o - C_i) \left\{ \operatorname{erfc} \left[\frac{f.P - 1}{\sqrt{2f.P}} \sqrt{N} \right] - e^{\gamma N} \operatorname{erfc} \left[\frac{f.P + 1}{\sqrt{2f.P}} \sqrt{N} \right] \right\} \quad (31)$$

که در آن:

$N = D_s / 2K$, $P = D_w / (\theta_{fc} . D_s)$ و D_w عمق خالص آب کاربردی و θ_{fc} رطوبت حجمی خاک در حد ظرفیت مزرعه است. متمم تابع خطایی $1 - \operatorname{erfc}$ و سایر علائم قبلاً تعریف شده‌اند.

۵-۶ مدل انتقال - انتشار^۲ هیدرودینامیکی

اقدامات زیادی برای بیان ریاضی فرآیند^۲ جایگزینی اختلاط پذیر^۲ و حل معادله دیفرانسیل پیشنهادی که در آن تلفیق پدیده های پخشیدگی و انتشار در نقل و انتقال املاح محلول در نیمرخ خاک به کار رفته است، به انجام رسیده که نتیجه آن ارائه راه حل تحلیلی برای معادله یک بعدی اختلاط آب و املاح در خاک همگن به شرح زیر می باشد.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial D_s^2} - V \frac{\partial C}{\partial D_s} \quad (32)$$

که در آن :

D ، ضریب پخشیدگی، متر مربع بر روز یا سانتیمتر مربع بر ثانیه،
 V ، سرعت متوسط جریان، سانتیمتر بر ثانیه یا سانتیمتر بر ساعت،
 D_s ، عمق خاک، سانتیمتر،
 C ، غلظت املاح محلول، گرم در لیتر یا میلی گرم بر سانتیمتر مکعب، و
 t ، زمان، ثانیه .

شرایط اولیه و مرزی برای حل تحلیلی معادله شماره (۳۲) به صورت زیر است:

$$C = C_i \quad D_s > 0, \quad t = 0$$

$$C = C_o \quad D_s = 0, \quad t > 0$$

$$C = C_i \quad D_s \rightarrow \infty, \quad t > 0$$

با توجه به شرایط فوق، در حالتی که آب آبشویی دارای غلظت C_i باشد، حل معادله شماره (۳۲) به شکل زیر خواهد بود.

$$\frac{C - C_1}{C_0 - C_1} = \frac{1}{2} \left\{ \operatorname{erfc} \left[\frac{D_s - V.t}{\sqrt{4 D.t}} \right] + \exp \left[\frac{V.D_s}{D} \right] \operatorname{erfc} \left[\frac{D_s + V.t}{\sqrt{4 D.t}} \right] \right\} \quad (33)$$

بررسی نتایج به دست آمده از مطالعات متعدد نشان می‌دهد که برای تعیین ضریب پخشیدگی، معادله تجربی زیر سودمند و کاربردی است.

$$D = 0.6 + 2.93 V^{1/11} \quad (34)$$

۶-۶ مدل تابع انتقال^۱

در این مدل که به منظور پیش بینی چگونگی حرکت املاح محلول خاک در منطقه توسعه ریشه ارائه گردیده، انتقال املاح در خاک تابعی از زمان و یا آب آبهویی کاربردی در نظر گرفته شده است. در مدل فوق حرکت املاح در محیط غیر اشباع خاک تابع چگالی احتمال^۲ نسبت به زمان فرض می‌شود، بنابراین میزان غلظت یک ملح غیر واکنشی در عمق $D_s = R$ پس از زمان کوتاه dt تقریباً برابر $F_R(t)$ خواهد بود. با استفاده از اصل انطباق و برای یک مقدار فرضی املاح کاربردی در سطح خاک ($D_s = 0$)، میزان تراکم املاح در عمق $D_s = R$ با معادله زیر بیان می‌گردد.

$$C(R,t) = \int_0^\infty C_{in}(t-t^-) F_R(t^-) dt^- \quad (35)$$

که در آن:

C_{in} ، میزان غلظت املاح در آب آبهویی، گرم بر لیتر یا میلی گرم بر سانتیمتر مکعب،
 t^- ، زمان مورد نیاز برای رسیدن املاح به عمق معین (از $D_s = 0$ به $D_s = R$)، ثانیه، و
 $F_R(t^-)$ ، تابع چگالی احتمال.

در بسط مدل، تابع چگالی احتمال به صورت توزیع لوگ نرمال^۳ قابل بیان است. در شرایطی که جریان آب آبهویی در نیمرخ خاک تقریباً ماندگار فرض شود، می‌توان به جای t از حجم آب کاربردی در واحد سطح D_w ، استفاده نمود. معادله شماره (۳۶) نتیجه اعمال فرضیات فوق در تابع چگالی احتمال است.

$$F_R(D_w) = \left[\sqrt{2\pi} \sigma D_w \right]^{-1} \exp \left[-\frac{(\ln D_w - \mu)^2}{2\sigma^2} \right] \quad (36)$$

1- Transfer Function Model

2- Probability Density Function

3- Lognormal Function

که در آن σ و μ به ترتیب واریانس و میانگین می باشند. برای حل تحلیلی معادله شماره (۳۵) روشهای مختلفی ارائه گردیده است. برای شرایط مرزی زیر:

$$\begin{aligned} C_{in}(D_w) &= 0 & D_w < 0 \\ C_{in}(D_w) &= C_0 & 0 < D_w < \Delta D_w \\ C_{in}(D_w) &= 0 & D_w > \Delta D_w \end{aligned}$$

حل معادله شماره (۳۵) به صورت زیر بیان می شود.

$$C(D_s, D_w) = \frac{C_0}{\sqrt{2}} \left\{ \operatorname{erf} \left[\frac{\ln(D_w \cdot R \cdot D_s)^{-\mu}}{\sqrt{2\sigma}} \right] - \operatorname{erf} \left[\frac{\ln(D_w - \Delta D_w) R \cdot D_s^{-\mu}}{\sqrt{2\sigma}} \right] \right\} \quad (37)$$

بر اساس روابط پیشنهادی زیر می توان مقادیر σ و μ را بر حسب V (سرعت متوسط جریان) و D (ضریب پخشیدگی) در مدل انتقال و انتشار بیان نمود.

$$\sigma^2 = \ln(D_{s2}/D_{s1})^2 \quad (38)$$

$$\mu = \sqrt{2}\sigma^2 - \frac{\ln(D_{s2}/R \cdot t^2)}{\sqrt{2}} \quad (39)$$

که در آن:

$$D_{s2} = 4Dt + V^2 t^2 \text{ و } D_{s1} = D/V + Vt$$

۷-۶ روش حل عددی^۱

روش حل عددی مدل ساده شده ای از معادله بیان املاح می باشد. در این مدل نیمرخ خاک ترکیبی از چند مخزن جداگانه به، لیکن متوالی در نظر گرفته می شود، به نحوی که هرگاه مقدار آب کاربردی معادل a و با غلظت املاح محلولی برابر با C به لایه (مخزن) اول وارد شود و پس از اختلاط با محلول خاک به مخزن (لایه) بعدی وارد می گردد.

میزان آبشویی املاح در هر لایه به غلظت اولیه املاح محلول آن لایه (C_{0i})، کمبود رطوبت خاک تا حد ظرفیت مزرعه و ضریب بازده آبشویی (f) بستگی خواهد داشت. معادله بیان املاح در لایه نخست به صورت زیر است:

$$f_1 . a . C_1 + b . C_{o1} = (f_1 . a + b) C_1 \quad (40)$$

که در آن :

C_{o1} : غلظت املاح محلول خاک لایه اول قبل از آیشویی، گرم بر لیتر یا میلی گرم بر سانتیمتر مکعب،

C_1 : غلظت املاح محلول خاک لایه اول پس از آیشویی، گرم بر لیتر یا میلی گرم بر سانتیمتر مکعب،

f_1 : ضریب بازده آیشویی املاح در اولین لایه، بدون بعد،

b : رطوبت اولیه خاک لایه اول، سانتیمتر مکعب بر سانتیمتر مکعب.

هرگاه c مقدار رطوبت (آب) باقی مانده در لایه نخست باشد، $(a-c)$ مقدار آب آیشویی ورودی به لایه دوم خواهد بود.

لذا معادله بیلان املاح برای مخزن (لایه) دوم عبارت خواهد بود از :

$$f_2 . (a-c) . C_1 + d . C_{o2} = [f_2 . (a-c) + d] . C_2 \quad (41)$$

در معادله فوق :

C_{o2} و C_2 به ترتیب غلظت املاح محلول لایه دوم خاک در شرایط قبل و پس از آیشویی املاح،

d : مقدار رطوبت اولیه لایه یاد شده و f_2 ضریب بازده آیشویی املاح در دومین لایه می باشد.

برای لایه های بعدی نیز به طریق مشابه می توان معادلات بیلان املاح مربوطه را ارائه نمود. در این روش دقت محاسبات بستگی کاملی به انتخاب مقدار آب آیشویی ورودی (a) دارد در شرایطی که مقدار آن کوچک انتخاب شود، محاسبات مربوط به تعیین غلظت محتوی مخازن (لایه ها) با دقت مورد نظر به انجام خواهد رسید.

۸-۶ ضریب بازده آیشویی

با استعانت از معادلات آیشویی نظری که در تعدیل و تکامل آنها ضریب بازده آیشویی (f) ملحوظ گردیده (معادلات شماره ۲۷ و ۲۹ و ۳۱ و ۴۰ و ۴۱) می توان با انتخاب مقدار ضریب (f) مورد نظر و انجام محاسبات لازمه، در نهایت به ازای مقادیر مختلف (عمق) آب آیشویی، غلظت املاح محلول لایه های متفاوت را پس از کاربرد آب آیشویی برآورد، پیش بینی و با استفاده از آنها اقدام به ترسیم منحنی آیشویی (شوری زدایی) نظری خاک^۱ نمود. به طوری که در مبحث شماره ۴-۵ نیز متذکر گردید، تهیه و ترسیم منحنی شوری زدایی (آیشویی) تجربی خاک^۲ از طریق آزمایشهای صحرائی مقدور می باشد. انطباق نسبی منحنیهای آیشویی تجربی و نظری خاک می تواند بیانگر انتخاب مناسب مقدار ضریب بازده آیشویی (f) که در معادلات و محاسبات به کار گرفته شده، همچنین تناسب مدل به کار

رفته با شرایط طبیعی خاک باشد. بدین ترتیب مقایسه میزان هم خوانی و انطباق منحنی آبخویی واقعی خاک و منحنیهای آبخویی تئوری که به ازای مقادیر متفاوت (f) حاصل آمده، می‌تواند روشی مناسب برای برآورد ضریب بازده آبخویی خاکها باشد. علاوه بر آن، روشهای دیگری برای برآورد تقریبی ضریب بازده آبخویی خاکها وجود دارد که می‌توان در برنامه‌های اجرایی از آنها استفاده نمود. به عنوان مثال با کاربرد رابطه زیر امکان دستیابی به ضریب بازده آبخویی با دقت تقریبی فراهم می‌گردد.

$$EC_{eq} = \frac{r \cdot EC_w}{f} \quad (42)$$

که در آن :

f: ضریب بازده آبخویی (تقریبی)،

EC_{eq} : هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک که به حال تعادل شیمیایی با آب آبخویی در آمده باشد،

EC_w : هدایت الکتریکی آب کاربردی (آب آبخویی).

$$r = \frac{D_w}{D_p} \quad (43)$$

در معادله فوق :

D_w : مقدار آب آبخویی کاربردی،

D_p : مقدار آب نفوذ یافته (زهکشی شده) که به صورت تراوشهای عمقی از لایه مورد نظر خارج شده است.

هرگاه مقدار شوری تعادلی (EC_{eq}) متناسب به لایه ۵-۰ سانتیمتری اولیه نیمرخ خاک و پس از نفوذ تمامی میزان آب آبخویی (D_w) باشد. در این شرایط می‌توان $D_w = D_p$ تلقی نمود که در نتیجه آن $r = 1$ و معادله شماره (۴۲) به صورت ساده زیر در می‌آید.

$$f = \frac{EC_w}{EC_{eq}} \quad (44)$$

همان طوری که قبلاً بیان گردید، استفاده از معادلات شماره (۴۲)، (۴۳) و (۴۴) منجر به حصول ضریب بازده آبخویی با دقت تقریبی خواهد شد. بنابراین در صورتی که مقدار دقیق (f) مورد نظر باشد، استفاده از معادلات مربوط به مدل‌های نظری آبخویی املاح محلول از نیمرخ خاکها توصیه می‌گردد.

پیوستهای

دستورالعمل آزمایشهای آبشویی

خاکهای شور و سدیمی در ایران

پیوست شماره یک

ارائه مثالهای عملی در خصوص آزمایشهای آبشویی خاکهای شور و سدیمی

چگونگی اجرا و انجام آزمایشهای اصلاح خاک و اراضی (آزمایشهای بررسی امکانات شوری زدایی، سدیم زدایی و تهیه منحنیهای آبشویی املاح از نیمرخ خاکها) در قسمت های قبل به تفصیل بیان گردیده است.

در این مبحث با توجه به مبانی بیان شده، دو مثال عملی در خصوص آزمایشهای آبشویی با کاربرد آب آبشویی به تنهایی و مصرف آب آبشویی به همراه پنج تن در هکتار اسید سولفوریک غلیظ (به عنوان ماده اصلاح کننده خاک) ارائه می شود که طی آن نتایج حاصل از اجرای آزمایشهای آبشویی املاح به همراه جداول، اشکال، و معادلات مربوط به تفصیل بیان شده است و منحنیهای شوری زدایی و سدیم زدایی خاکهای مورد آزمایش به تفکیک هر آزمایش ارائه می گردد.

جدول شماره (۱) موقعیت، سری، کلاس شوری و سدیمی بودن و معدودی از ویژگیهای فیزیکی خاکها و کیفیت آب کاربردی را در آزمایشهای اصلاح خاک و اراضی که در پی خواهد آمد نشان می دهد. در جدول شماره (۲) نتایج تجزیه شیمیایی آبهای مورد مصرف در آزمایشهای آبشویی نشان داده شده است.

بیان این نکته نیز ضروری می باشد که شرح توصیفی تغییرات فیزیکی و شیمیایی خاکهای مورد آزمایش با توجه به ویژگیهای خاص این نوع خاکها صورت گرفته است. بنابراین در آزمایشهای مشابه، می تواند دامنه تغییرات دیگری را داشته باشد. بدین علت، شرایط دیگر، مباحث توصیفی و کیفی ویژه خود را طلب می نماید.

۱- مثال شماره یک

- آزمایش آبشویی املاح محلول نیمرخ خاک به وسیله آب آبشویی

این آزمایش در سری خاکهای غرگانه (با شماره فاز خاک ۶/۱) به مرحله اجرا درآمده است. کلاس اراضی انتخابی از نظر شوری و سدیمی بودن، قبل از اجرای آزمایش، براساس مطالعات شناسایی خاک و طبقه بندی نیمه تفصیلی دقیق اراضی دشت هنديجان $S\&A_3$ گزارش شده است. مندرجات جداول شماره (۱)، (۲) و (۳) که در پی می آید نشان دهنده بافت خاک در لایه ۵۰-۰ سانتیمتری نیمرخ خاک، سنگین تا نسبتاً سنگین و در لایه ۵۰-۱۰۰ سانتیمتری نسبتاً سبک، متوسط تا نسبتاً سنگین و بالاخره در لایه ۱۵۰-۱۰۰ سانتیمتری متوسط تا سبک است. هدایت هیدرولیک آن نسبتاً آهسته، عمق لایه محدودکننده محل آزمایش عمیق، سطح ایستابی خیلی عمیق و سرانجام سرعت نفوذ پایه اراضی در مراحل اولیه آزمایش متوسط بوده است.

جدول ۱- موقعیت، سری، کلاس شوری و قلیائیت و معدودی از ویژگیهای فیزیکی خاکها،

در آزمایشهای اصلاح خاک و اراضی دشت هندیجان در استان خوزستان

ردیف	شماره آزمایش	سری خاک و شماره فاز مربوط	کلاس شوری و قلیائیت اراضی	عمق سطح ایستابی (متر)	ضریب آبگذری (متر بر روز)	عمق طبقه غیرقابل نفوذ (متر)	سرعت نفوذ پایه اراضی (سانتیمتر بر ساعت)	
							اولیه	نهایی
۱	L۱	غرگانه (۶/۱)	S _۴ A _۳	۳/۶۲	۰/۶۸	۳/۸۰	۰/۸۰	۰/۸۰
۲	L۱ + S	غرگانه (۶/۱)	S _۴ A _۳	۳/۶۲	۰/۶۸	۳/۸۰	۱/۰۶	۰/۹۶

جدول ۲- نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌های آب کاربردی در آزمایشهای

شوری و سدیم‌زدایی خاکهای دشت هندیجان در استان خوزستان

ردیف	شماره آزمایش	تاریخ نمونه‌برداری			هدایت الکتریکی EC _w (dS/m)	pH	میلی‌اکی والان بر لیتر		نسبت جذب سدیم کلاس آب کاربردی	S.A.R
		روز	ماه	سال			Ca ^{۲+} + Mg ^{۲+}	Na ⁺		
۱	L۱	۵	۱۲	۶۷	۱/۲۲۵	۷/۴۰	۶/۸۴	۴/۷۰	۲/۵۴	C _۳ - S _۱
۲	L۱ + S	۵	۱۲	۶۷	۱/۲۲۵	۷/۴۰	۶/۸۴	۴/۷۰	۲/۵۴	C _۳ - S _۱

مشخصات فیزیکی لایه‌های مختلف خاک و عمق آب مورد نیاز برای تأمین کسر رطوبت خاک لایه‌های متفاوت در جدول شماره (۳) ارائه شده است. بررسی ارقام مندرج در جدول یاد شده بیانگر آن است که در بین نمونه‌های مختلف آزمایش شده، درصد رطوبت خاک در حد ظرفیت مزرعه بین $17/0$ و $20/93$ و در حد نقطه پژمردگی بین $9/35$ و $7/35$ متغیر بوده است. میزان نفوذپذیری خاک کلیه طبقات نمونه برداری شده، متوسط و وزن مخصوص حقیقی و ظاهری خاکها به ترتیب از حداقل $2/42$ و $1/4$ تا حداکثر $2/48$ و $1/52$ گرم بر سانتیمتر مکعب متغیر بوده، و بدین ترتیب درصد تخلخل کل برای خاکهای محل آزمایش از حداقل $37/7$ تا حداکثر $42/1$ متغیر بوده است.

همچنین براساس ارقام ارائه شده در جدول بالا ملاحظه می‌گردد که کسری رطوبت لایه‌های خاک (تا حد ظرفیت مزرعه) برای لایه‌های متفاوت تا عمق نمونه برداری شده در مجموع به $18/52$ سانتیمتر بالغ می‌گردد. بدین ترتیب از جمع $25/0$ متر آب کاربردی در اولین دوره آبیویی، فقط $6/48$ سانتیمتر ($6/48 = 18/52 - 25$) آن می‌توانسته است به حالت نفوذ عمقی (آب ثقلی) از انتهای نیمرخ خاک تا عمق $1/5$ متری خارج شود. کاربرد سه تناوب بعدی آب آبیویی کلاً صرف شستشوی املاح خواهد شد، زیرا ستون خاک تا عمق مورد نظر قبلاً در حد رطوبت ظرفیت مزرعه و یا زیاده‌تر از آن بوده است. بنابراین در شرایط فوق از جمع 100 سانتیمتر عمق آب کاربردی (در چهار تناوب $25/0$ متری) منحصراً $81/48$ سانتیمتر ($81/48 = 18/52 - 100$) آن می‌توانسته است که به صورت نفوذ عمقی و ثقلی از نیمرخ $1/5$ متری خاک خارج شده و موجب آبیویی املاح لایه‌های مربوط گردد.

در این آزمایش از هیچ‌گونه ماده اصلاح‌کننده خاک (مواد بهساز) استفاده نگردیده و چگونگی آبیویی املاح منحصراً به وسیله آب کاربردی مورد مطالعه قرار گرفته است. آب مورد مصرف در این آزمایش، در طبقه‌بندی آزمایشگاه شوری ایالات متحده امریکا (نمودار ویلکوکس) در کلاس $S_1 - C_3$ (به معنی خطرات شوری زیاد و گزند قلیائیت کم) قرار می‌گرفته و از نظر pH حالت نرمال داشته است. بررسی نوسان تغییرات کیفیت آب مورد مصرف (رودخانه زهره استان خوزستان) نشان‌دهنده آن است که آب این رودخانه در کلیه فصول سال به علت تفوق مقادیر یونهای (کلسیم + منیزیم) بر (بی‌کربنات + کربنات)، از نظر کربنات سدیم باقی مانده^۱ "مسأله‌ساز" نمی‌باشد.

در اولین دوره کاربرد $25/0$ متر آب آبیویی، سرعت نفوذ آب به خاک به وسیله سه استوانه مضاعف اندازه‌گیری شده است. در آخرین دور کاربرد، که عمق آب کاربردی حدوداً به یک متر می‌رسید، سرعت نفوذ آب به خاک برای قضاوت در مورد چگونگی تغییرات سرعت نفوذپذیری خاک، بار دیگر اندازه‌گیری گردیده است. بررسی ارقام حاصله و تحلیل آنها نشان می‌دهد که سرعت نفوذ پایه اراضی که در اولین دور کاربرد آب آبیویی معادل $8/0$ سانتیمتر در ساعت و از نظر توصیفی متوسط بوده است، پس از نفوذ یک متر آب بدون تغییر می‌ماند.

جدول ۳- مشخصات فیزیکی لایه‌های مختلف خاک و عمق آب مورد نیاز برای تأمین کمبود رطوبت خاک لایه‌های مختلف در آزمایش (L۱)

ردیف	عمق نمونه برداری (سانتیمتر)	ضخامت لایه خاک سانتیمتر (a)	بافت خاک	درصد رطوبت (وزنی)			وزن مخصوص گرم بر سانتیمتر مکعب		تخلخل کل درصد	نفوذپذیری خاک		عمق آب مورد نیاز (سانتیمتر) برای تأمین کسر رطوبت $H = \frac{(b-c).d.a}{100}$
				نقطه پژمردگی	صحرائی (c)	ظرفیت مزرعه (b)	ظاهری (d)	حقیقی		میلیمتر در ساعت	وضعیت توصیفی	
۱	۰ - ۲۵	۲۵	Clay Loam تا Silty Clay	۸/۸۷	۵/۸	۲۰/۹۳	۱/۴۰	۲/۴۲	۴۲/۱	۱۰/۵	متوسط	۵/۲۹
۲	۲۵ - ۵۰	۲۵	Silty Clay Loam	۷/۳۵	۷/۱	۱۸/۶۵	۱/۵۲	۲/۴۴	۳۷/۷	۱۶/۶	متوسط	۴/۳۹
۳	۵۰ - ۷۵	۲۵	Sandy Loam تا Clay Loam	۹/۳۵	۷/۵	۱۷/۰	۱/۴۸	۲/۴۸	۴۰/۳۲	۱۰/۵	متوسط	۳/۵۱
۴	۷۵ - ۱۰۰	۲۵	Clay Loam تا Loam	۹/۳۵	۱۲/۲	۱۷/۰	۱/۴۸	۲/۴۸	۴۰/۳۲	۱۰/۵	متوسط	۱/۷۸
۵	۱۰۰ - ۱۵۰	۵۰	Silt Loam تا Loamy Sand	۹/۳۵	۱۲/۲	۱۷/۰	۱/۴۸	۲/۴۸	۴۰/۳۲	۱۰/۵	متوسط	۳/۵۵

۱-۱ کیفیت شیمیایی خاک قبل از انجام آبشویی

جداول شماره (۴) و (۵) نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌های خاک اعماق مربوط را قبل و پس از کاربرد هر تناوب ۰/۲۵ متری آب آبشویی نشان می‌دهد. بررسی این نتایج نمایانگر آن است که:

کیفیت شیمیایی خاک تا عمق ۱/۵ متری فوق‌العاده شور و به میزان زیادی سدیمی بوده است. میزان شوری با افزایش عمق خاک کاهش می‌یابد و مقدار سدیمی بودن آن تا عمق حدوداً یک متری نشان از افزایش دارد. میزان pH خاک از حداقل ۶/۹۵ تا حداکثر ۷/۳۲ (در لایه تحتانی) متغیر بوده است. میزان گچ خاک به‌طور کلی تا عمق ۵۰ سانتیمتری متوسط و تراکم آن در لایه ۷۵-۱۰۰ سانتیمتری بسیار زیاد و در آخرین لایه کم بوده است. درصد کربنات کلسیم با پراکنش حدوداً یکنواخت، به میزان بسیار زیاد گزارش گردیده است. مقادیر درصد سدیم تبدلی تقریباً در کلیه طبقات نمونه برداری شده، عدم هماهنگی مشهودی را نمودار می‌سازد.

تا عمق ۱/۵ متری نیمرخ خاک، یونهای غالب عصاره اشباع خاک را روی هم رفته به ترتیب غلظت کلر، سدیم، کلسیم، سولفات، منیزیم و بیکربنات تشکیل می‌داده است. این در شرایطی است که عصاره اشباع خاک کلاً فاقد یون کربنات گزارش شده است. بدین ترتیب نتیجه می‌گردد که املاح خاک را عمدتاً کلرور (در مرحله اول کلرورسدیم) و سولفاتهای سدیم، کلسیم و منیزیم تشکیل می‌دهند. وجود چنین املاحی با قابلیت انحلال زیاد در طبقات مختلف نیمرخ خاک، کار آبشویی املاح را از ستون خاک تسهیل نموده است.

به‌طور متوسط میزان هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک تا عمق ۱/۵ متری برابر با ۳۶/۱۱ دسی‌زیمنس بر متر (dS/m)، میزان pH، گچ و کربنات کلسیم خاک به ترتیب ۷/۱۶، ۴/۷۹ میلی‌اکی والان در صد گرم خاک خشک و ۳۶ درصد بوده است. درصد سدیم تبدلی مربوط به لایه فوق، در دو روش محاسباتی برابر با ۳۰/۲۰ و ۳۱/۳۹ گزارش شده است.

۲-۱ تغییرات کیفی خاک پس از کاربرد ۱۰۰ سانتیمتر آب آبشویی

قبل و بعد از نفوذ هر ۰/۲۵ متر عمق آب آبشویی (در چهار تناوب که جمعاً عمق آب کاربردی را به یک متر می‌رساند) نمونه خاک تهیه و برای تجزیه‌های شیمیایی مختلف، شامل: هدایت الکتریکی، ظرفیت تبادل کاتیونی، میزان سدیم قابل تعویض و بالاخره کاتیونها و آنیونهای محلول عصاره اشباع خاک (برای محاسبه نسبت جذب سدیم و نهایتاً برآورد درصد سدیم تبدلی خاک) به آزمایشگاه ارسال گردید. قبل و بعد از اتمام آزمایشها، اسیدیته، گچ و آهک نیز اندازه‌گیری شد. نتایج این آزمایشها در جداول مربوط ارائه شده است.

جدول ۴- تغییرات کیفیت شیمیایی خاک قبل و بعد از کاربرد یک مترآب آبشویی در آزمایش (L_۱)

عمق نمونه برداری (سانتیمتر)	درصد اشباع SP	هدایت الکتریکی E _{Ce} دسی زیمنس بر متر (dS/m)	pH عصاره اشباع خاک	درصد مواد خشتی شونده T.N.V.	گچ $So_4Ca_2H_2O$ (میلی اکی والان در صدگرم خاک)	ظرفیت کاتیونهای تبادل (میلی اکی والان در صدگرم خاک) C.E.C	سدیم تبادلی (میلی اکی والان در صدگرم خاک) $Ex.Na^+$	نسبت جذب سدیم SAR	درصد سدیم تبادلی ESP (۱)	درصد سدیم تبادلی ESP (۲)
۰ - ۲۵	۳۳/۰۰ ۳۹/۰۷	۴۶/۵۰ ۲/۳۱	۷/۱۰ ۷/۸۰	۳۳/۰۰ ۳۶/۰۰	۶/۲۴ ۰/۹۴	۱۹/۹ ۱۱/۰۲	۵/۰۱ ۰/۶۸	۳۶/۵۸ ۳/۰۷	۲۵/۱۸ ۶/۱۷	۳۴/۵۱ ۳/۱۶
۲۵ - ۵۰	۳۲/۰۰ ۳۷/۶۷	۳۶/۶۰ ۲/۸۳	۶/۹۵ ۷/۳۰	۳۳/۰۰ ۳۷/۰۰	۶/۸۶ ۱/۱۶	۱۳/۷۰ ۱۸/۵۵	۶/۲۵ ۰/۲۶	۳۰/۴۸ ۲/۵۶	۴۵/۶۲ ۱/۴۰	۳۰/۵۱ ۲/۴۵
۵۰ - ۷۵	۳۰/۰۰ ۳۳/۳۳	۳۸/۲۰ ۳/۳۰	۷/۱۰ ۷/۵۰	۳۷/۰۰ ۳۶/۳۰	۷/۴۱ ۱/۸۵	۱۱/۷۱ ۱۲/۷۶	۵/۲۱ ۰/۶۰	۳۰/۰۷ ۶/۲۲	۴۴/۴۹ ۴/۷۰	۳۰/۱۲ ۷/۳۳
۷۵ - ۱۰۰	۳۰/۰۰ ۳۲/۶۷	۳۶/۴۰ ۱۱/۹۰	۷/۲۰ ۷/۶۰	۳۹/۰۰ ۳۸/۷۰	۴/۸۸ ۲/۹۶	۱۶/۴۳ ۱۵/۰۵	۶/۰۱ ۲/۸۴	۲۹/۷۴ ۲۲/۰۴	۳۶/۵۸ ۱۸/۸۷	۲۹/۸۸ ۲۳/۸۰
۱۰۰ - ۱۵۰	۲۹/۰۰ ۲۹/۶۷	۲۹/۵۰ ۳۱/۳۷	۷/۳۲ ۷/۱۰	۳۷/۰۰ ۴۰/۰۰	۱/۶۷ ۳/۴۱	۲۱/۹۰ ۱۵/۵۱	۳/۲۲ ۳/۳۱	۳۲/۳۴ ۳۶/۱۹	۱۴/۷۰ ۲۱/۳۴	۳۱/۷۲ ۳۴/۲۶

(۱) محاسبه شده از معادله شماره (۶)

(۲) برآورد گردیده از رابطه شماره (۱۴)

- ارقام ردیف بالا در متن جدول مربوط به قبل و ارقام ردیف پایین مربوط به پس از آبشویی می باشد (کلیه ارقام قبل از آبشویی نتیجه آزمایش یک نمونه مرکب و ارقام پس از آبشویی میانگین آزمایش سه نمونه است).

ادامه جدول ۴- تغییرات کیفیت شیمیایی خاک قبل و بعد از کاربرد یک متر آب آبتوی در آزمایش (L_۱)

کاتیونها و آنیونهای عصاره اشباع خاک، میلی‌اکی‌والان بر لیتر									عمق
کربنات* CO ₃ ^{۲-}	بیکربنات HCO ₃ ^{۱-}	کلر CL ^{۱-}	سولفات SO ₄ ^{۲+}	مجموع آنیونها	کلسیم Ca ^{۲+}	منیزیم Mg ^{۲+}	سدیم Na ^{۱+}	مجموع کاتیونها	نمونه‌برداری (سانتیمتر)
۰ - ۲۵	۱/۲۵	۴۳۲/۷۹	۸۲/۳۷	۵۱۶/۴۱	۱۰۰/۰۰	۷۳/۸۳	۳۴۱/۰۰	۵۱۴/۸۳	۰ - ۲۵
-	۱/۹۶	۹/۰۰	۱۴/۶۳	۲۵/۵۹	۱۴/۸۰	۴/۰۴	۹/۴۲	۲۸/۲۶	-
۲۵ - ۵۰	۱/۲۵	۲۷۳/۶۹	۹۶/۲۹	۳۷۱/۲۳	۶۶/۶۵	۵۸/۹۲	۲۴۱/۴۸	۳۶۷/۰۵	۲۵ - ۵۰
-	۱/۳۸	۷/۳۶	۲۷/۰۴	۳۵/۷۸	۲۱/۷۳	۶/۰۶	۹/۵۴	۳۷/۳۳	-
۵۰ - ۷۵	۱/۲۵	۲۹۷/۱۰	۸۳/۰۰	۳۸۱/۳۵	۷۰/۰۰	۶۱/۷۵	۲۴۴/۰۹	۳۷۵/۸۴	۵۰ - ۷۵
-	۱/۴۷	۷/۲۰	۳۷/۴۰	۴۶/۰۷	۱۸/۵۷	۶/۳۶	۲۱/۹۶	۴۶/۸۹	-
۷۵ - ۱۰۰	۱/۱۳	۲۷۹/۴۱	۸۶/۳۰	۳۶۶/۸۴	۷۳/۳۵	۵۵/۶۷	۲۳۸/۸۷	۳۶۷/۸۹	۷۵ - ۱۰۰
-	۱/۷۴	۷۶/۸۷	۴۹/۷۹	۱۲۸/۴۰	۲۱/۱۲	۱۲/۹۲	۹۰/۹۴	۱۲۴/۹۸	-
۱۰۰ - ۱۵۰	۱/۲۵	۳۰۰/۵۶	۲۲/۳۷	۳۲۴/۱۸	۵۱/۵۵	۴۶/۲۵	۲۲۶/۱۷	۳۲۳/۹۷	۱۰۰ - ۱۵۰
-	۱/۱۲	۳۰۰/۴۰	۴۷/۰۴	۳۴۸/۵۶	۴۷/۰۷	۴۶/۵۳	۲۴۷/۵۸	۳۴۱/۱۸	-

* رقمی گزارش نگردیده

- ارقام ردیف بالا در متن جدول مربوط به قبل و ارقام ردیف پایین مربوط به پس از آبتوی می‌باشد (کلیه ارقام قبل از آبتوی نتیجه آزمایش یک نمونه مرکب و ارقام پس از آبتوی میانگین آزمایش سه نمونه است).

جدول ۵- تغییرات کیفیت شیمیایی خاک به ازای مقادیر متفاوت آب آبتوی در آزمایش (L_۱)

عمق آب آبتوی سانتیمتر	اعماق نمونه برداری خاک سانتیمتر	ECe دسی زیمنس بر متر (dS/m)	میلی اکلی والان در صد گرم خاک		درصد سدیم تبادلی ESP (۱)	میلی اکلی والان بر لیتر			نسبت جذب سدیم SAR	درصد سدیم تبادلی ESP (۲)
			Ex.Na ⁺	C.E.C		Na ⁺	Ca ^{۲+}	Mg ^{۲+}		
۲۵	۰ - ۲۵	۳/۸۳	۱/۵۰	۱۶/۵۳	۹/۰۷	۲۰/۵۱	۲۰/۶۷	۶/۵۶	۵/۵۶	۶/۴۹
	۲۵ - ۵۰	۱۰/۶۸	۵/۵۳	۱۲/۵۳	۴۴/۱۳	۸۲/۴۷	۲۱/۵۳	۱۷/۲۲	۱۸/۷۴	۲۰/۸۷
	۵۰ - ۷۵	۳۷/۵۳	۵/۳۰	۱۸/۲۶	۲۹/۰۳	۲۹۰/۸۶	۵۲/۰۷	۵۵/۷۲	۳۹/۶۲	۳۶/۳۸
	۷۵ - ۱۰۰	۴۶/۵۰	۵/۳۹	۱۳/۲۰	۴۰/۸۳	۳۴۱/۷۷	۶۰/۹۳	۶۷/۸۹	۴۲/۵۹	۳۸/۱۰
۵۰	۰ - ۲۵	۲/۹۳	۰/۸۴	۱۴/۸۳	۵/۶۶	۱۱/۸۵	۱۸/۷۷	۵/۵۰	۳/۴۰	۳/۶۲
	۲۵ - ۵۰	۴/۸۲	۱/۷۵	۱۷/۵۵	۹/۹۷	۳۱/۴۰	۱۹/۰۸	۷/۳۳	۸/۶۴	۱۰/۳۰
	۵۰ - ۷۵	۱۳/۴۷	۶/۰۱	۱۶/۱۲	۳۷/۲۸	۱۰۳/۱۴	۲۰/۰۸	۱۶/۳۹	۲۴/۱۵	۲۵/۵۸
	۷۵ - ۱۰۰	۴۲/۷۰	۵/۴۷	۱۵/۴۱	۳۵/۵۰	۳۵۰/۴۸	۴۱/۸۰	۶۶/۱۹	۴۷/۷۰	۴۰/۸۶
۷۵	۰ - ۲۵	۸/۷۱	۰/۶۹	۱۱/۰۵	۶/۲۴	۹/۹۶	۲۲/۰۱	۴/۴۲	۲/۷۴	۲/۷۱
	۲۵ - ۵۰	۳/۰۶	۰/۸۸	۱۶/۷۷	۵/۲۵	۱۱/۸۹	۲۱/۹۸	۶/۵۳	۳/۱۵	۳/۲۷
	۵۰ - ۷۵	۶/۹۷	۳/۵۷	۱۱/۴۶	۳۱/۱۵	۶۵/۱۰	۲۰/۳۸	۸/۲۱	۱۷/۲۲	۱۹/۴۴
	۷۵ - ۱۰۰	۲۹/۸۰	۴/۱۶	۱۵/۲۳	۲۷/۳۱	۲۷۹/۲۴	۵۰/۰۵	۵۰/۹۶	۳۹/۲۹	۳۶/۱۸

(۱) محاسبه شده از معادله شماره (۶)

(۲) برآورد گردیده از رابطه شماره (۱۴)

- ارقام مندرج در جدول میانگین سه نمونه آزمایش است.

نتایج بررسیهای انجام شده به شرح زیر است :

الف - تغییرات شوری و درصد سدیم تبادلی (سدیمی بودن) خاک طی دوره آبخویی املاح

با استناد به اطلاعات مندرج در جداول فوق و با استفاده از ارقام هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک و درصد سدیم تبادلی محاسبه شده (از طریق میزان سدیم تبادلی و ظرفیت کاتیونهای تبادلی نمونه خاک)، میانگین وزنی عوامل مزبور برای لایه‌های ۰-۲۵، ۰-۵۰، ۰-۷۵ و ۰-۱۰۰ سانتیمتری محاسبه و سپس نسبت به تهیه شکل‌های شماره (۱)، (۲)، (۳) و (۴) براساس روابط زیر اقدام شد:

- رابطه بین تغییرات میزان شوری لایه‌های مختلف نیمرخ خاک به ازای مقادیر مختلف آب کاربردی (آب آبخویی ناخالص یا D_w)،
- رابطه بین میزان آب کاربردی با درصد املاح اولیه باقی مانده و شسته شده در لایه‌های مختلف نیمرخ خاک،
- رابطه بین تغییرات میزان درصد سدیم تبادلی لایه‌های مختلف نیمرخ خاک به ازای مقادیر مختلف آب کاربردی (آب آبخویی ناخالص یا D_w)،
- رابطه بین میزان آب کاربردی با درصد سدیم تبادلی اولیه باقی مانده و شسته شده در لایه‌های مختلف نیمرخ خاک.

در این شکل‌ها علائم به کار رفته دارای معانی پیشین می‌باشد.

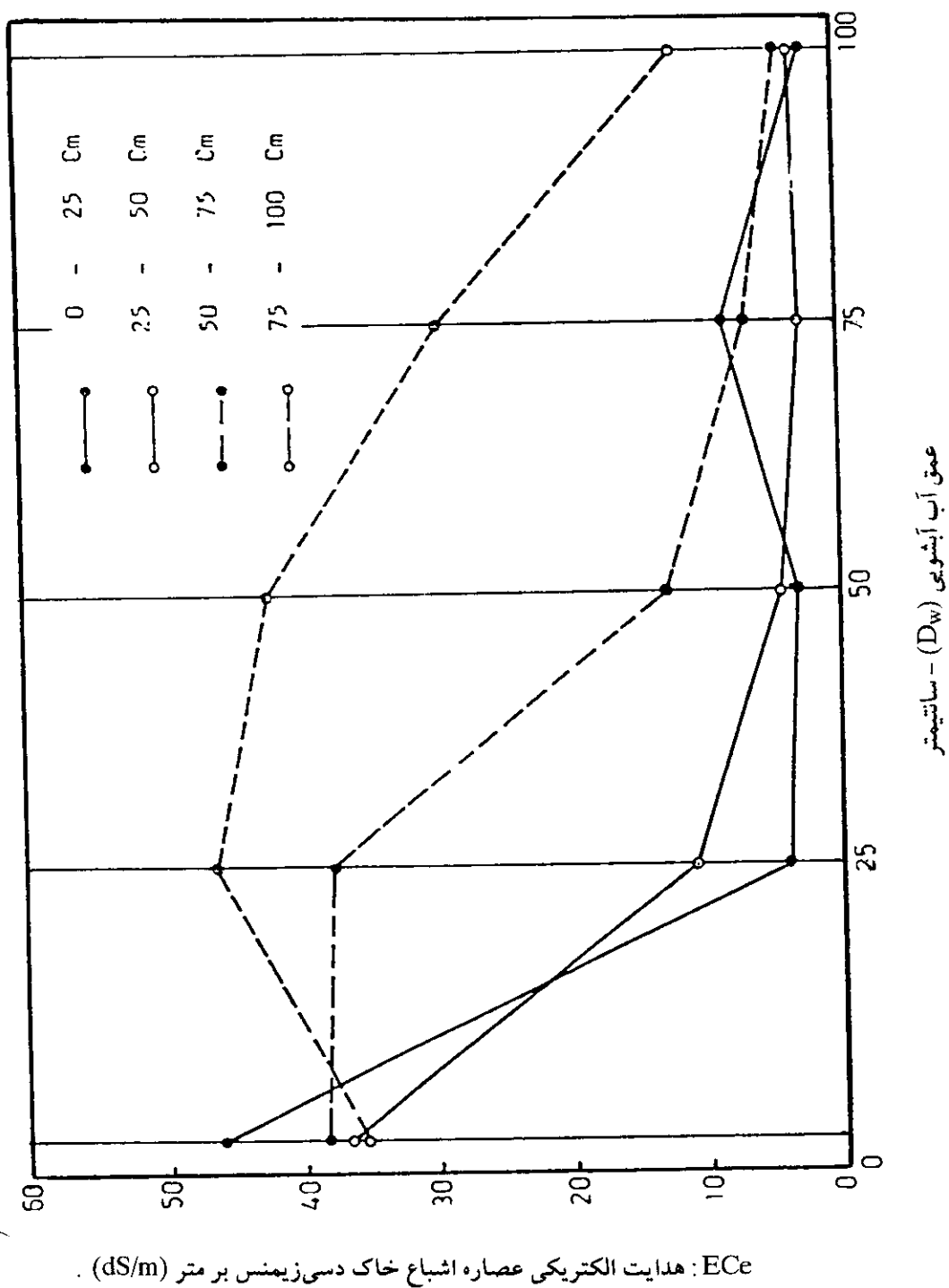
ب - کیفیت شیمیایی خاک پس از انجام مراحل آبخویی

مروری بر ارقام به دست آمده از تجزیه آزمایشگاهی نمونه‌ها، پس از آبخویی با یک متر آب براساس جداول مربوط، نمایانگر آن است که :

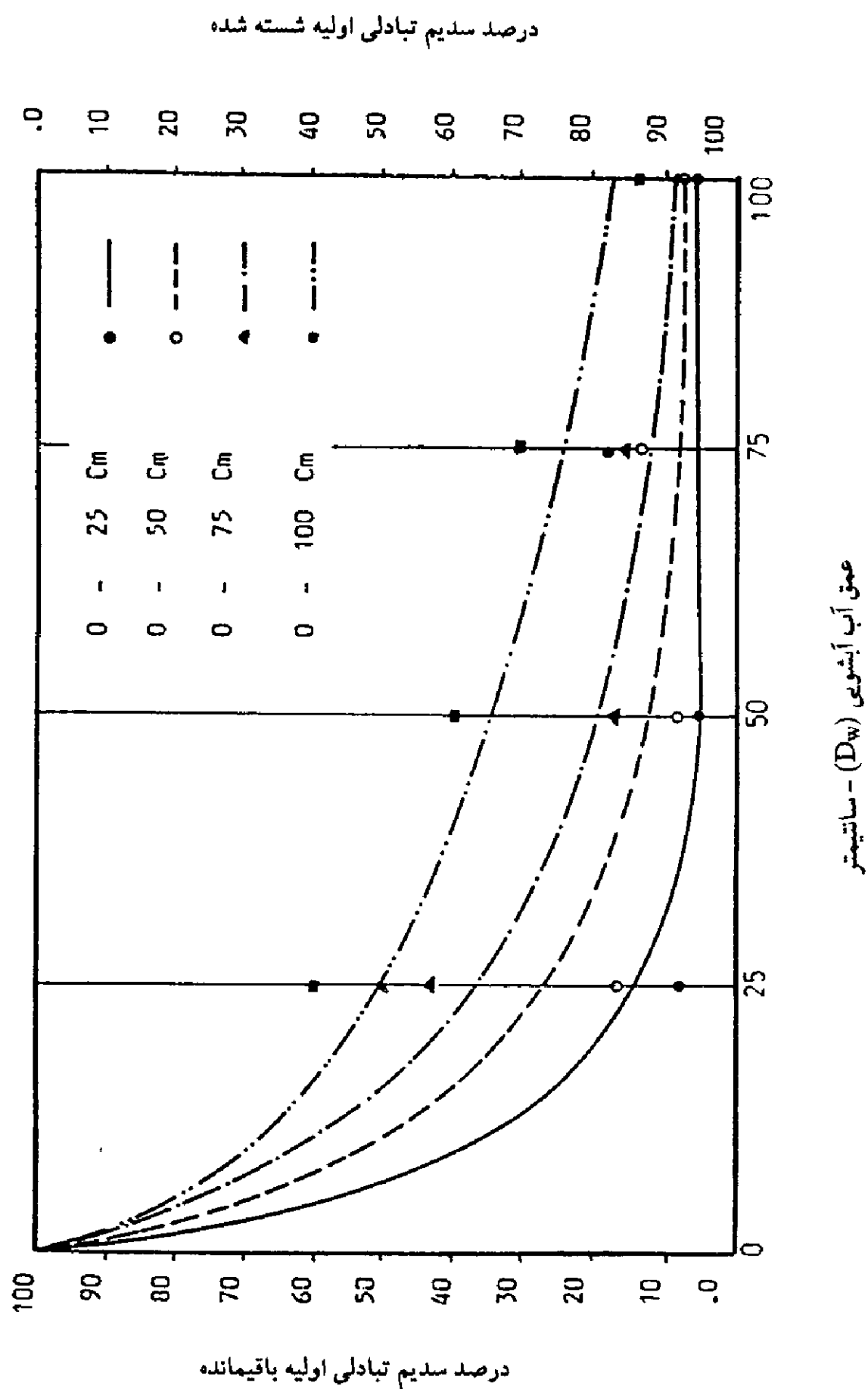
به‌طورکلی تا عمق یک متری نیمرخ خاک، مقادیر شوری و درصد سدیم تبادلی (در هر دو روش محاسباتی) کاهش بسیار قابل ملاحظه‌ای یافته است. شدت این کاهش تا عمق ۰/۷۵ متری از سطح خاک زیادتر است. به‌طوری‌که برای سه لایه ۰-۵۰، ۰-۱۰۰ و ۰-۱۵۰ سانتیمتری نیمرخ خاک، میزان هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک به ترتیب به ۲/۵۷، ۵/۰۸ و ۱۳/۸۴ دسی‌زیمنس بر متر (dS/m) کاهش یافته است. میزان pH مربوط به عمق ۱/۵ متری نیمرخ خاک به ۷/۴ رسیده است که کمی افزایش نشان می‌دهد. مقادیر گچ خاک (با پراکنش حدوداً یکنواخت تا عمق یک متری) برای اعماق یاد شده به ترتیب به ۱/۰۵، ۱/۷۳ و ۲/۲۹ میلی‌اکی‌والان در صد گرم خاک خشک و مقادیر آهک به ترتیب به ۳۶/۵، ۳۷/۰ و ۳۸/۰ درصد رسیده است. مقادیر درصد سدیم تبادلی خاک برای سه لایه فوق در روش محاسباتی اول به ۳/۷۸، ۷/۷۸ و ۱۲/۳۰ و در روش محاسباتی دیگر به ۲/۸۰، ۹/۱۶ و ۱۷/۵۳ رسیده است.

کاتیونهای غالب در عصاره اشباع خاک مجموع سه لایه مذکور به ترتیب: سدیم، کلسیم و منیزیم و آنیونهای غالب آن به ترتیب: کلر، سولفات و بی‌کربنات بوده است. اشکال شماره (۵) و (۶) چگونگی پراکنش کاتیونها و آنیونهای

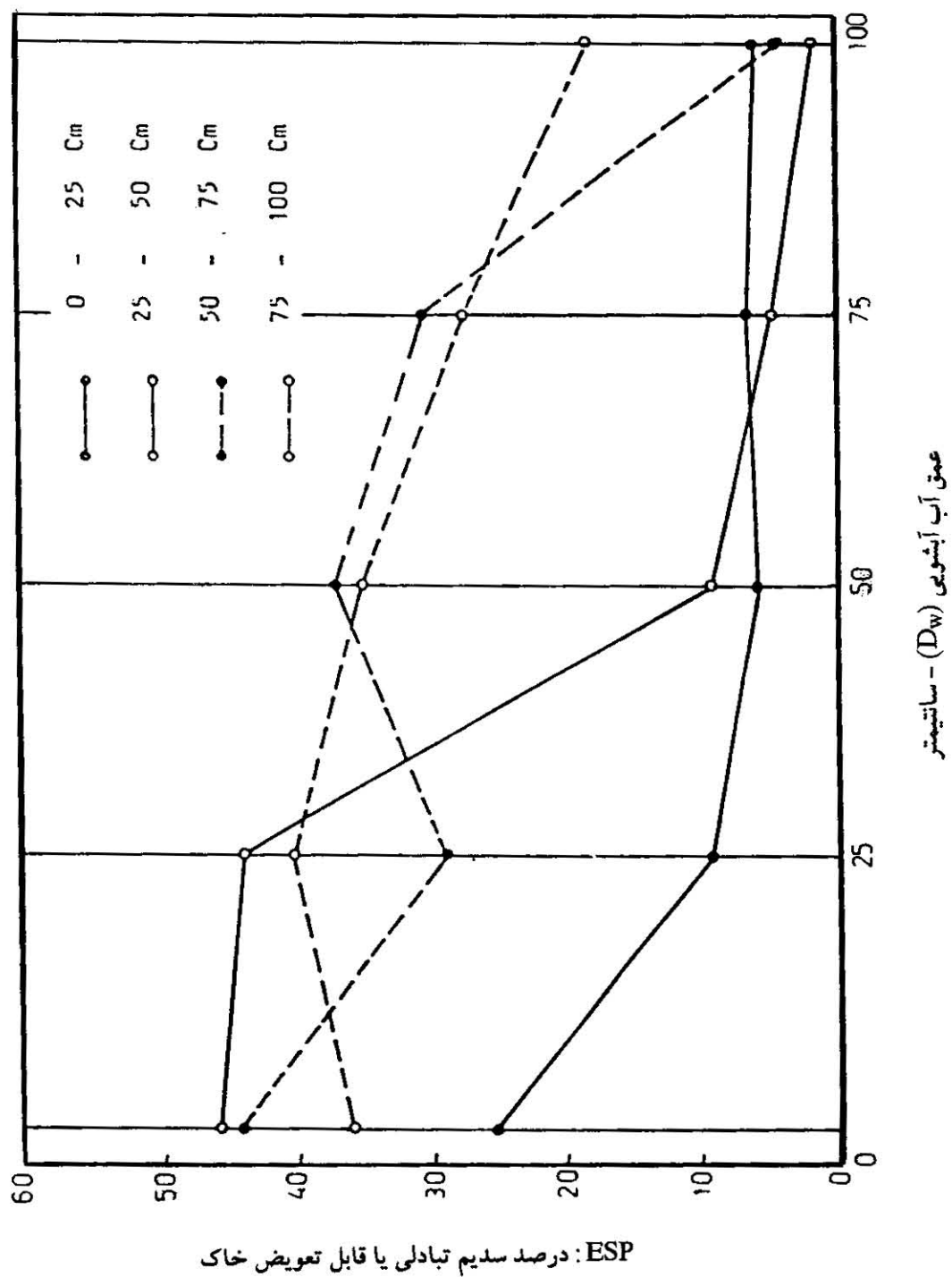
شکل ۱- رابطه بین تغییرات میزان شوری لایه‌های مختلف نیمرخ خاک به ازاء مقادیر مختلف آب کاربردی در آزمایش مثال شماره یک



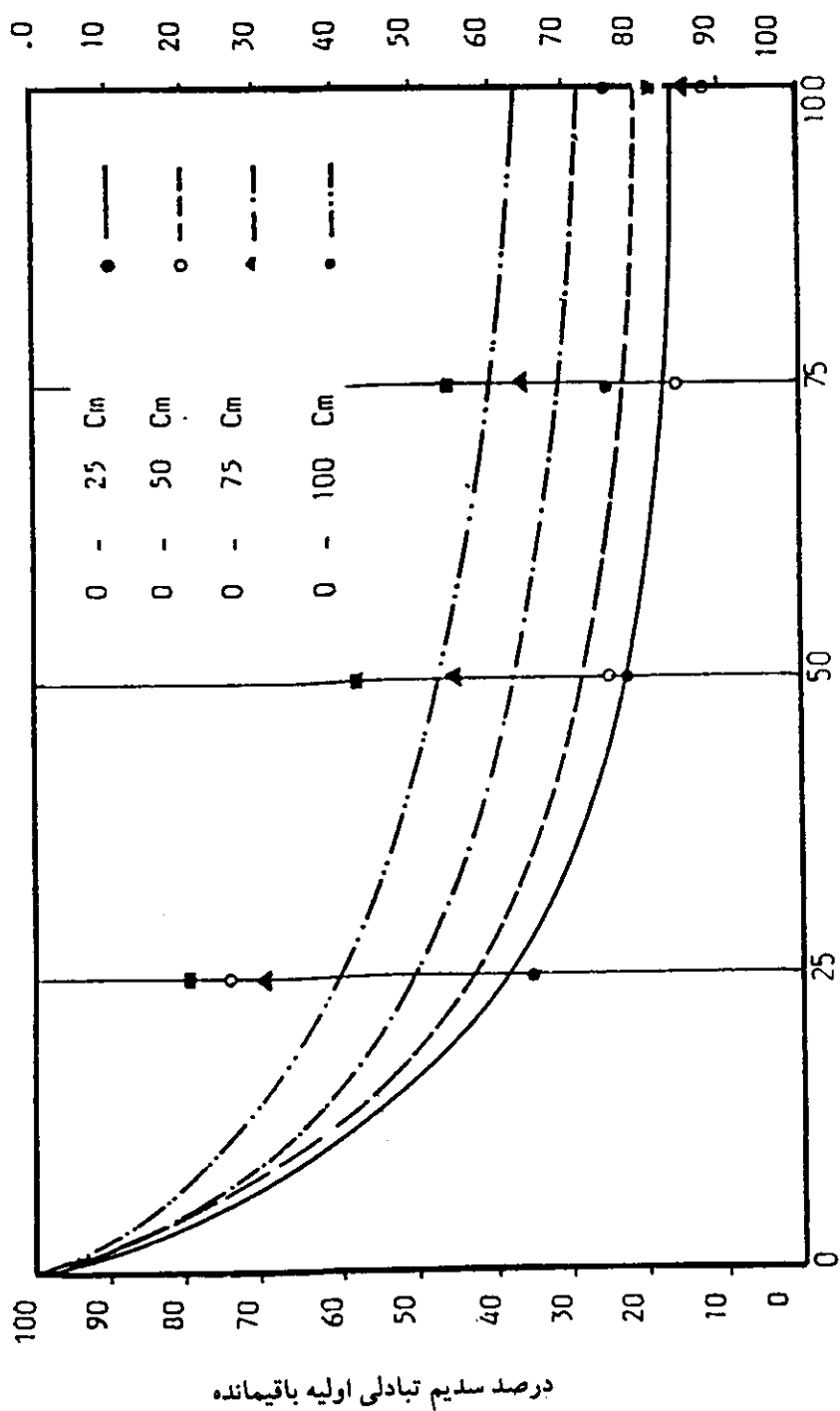
شکل ۲- رابطه بین میزان آب کاربردی با درصد املاح اولیه باقیمانده و شسته شده در لایه‌های مختلف نیمرخ خاک در آزمایش مثال شماره یک



شکل ۳- رابطه بین تغییرات میزان درصد سدیم تبادل‌ی لایه‌های مختلف نیم‌رخ خاک به ازاء مقادیر مختلف آب‌کاربردی در آزمایش مثال شماره یک

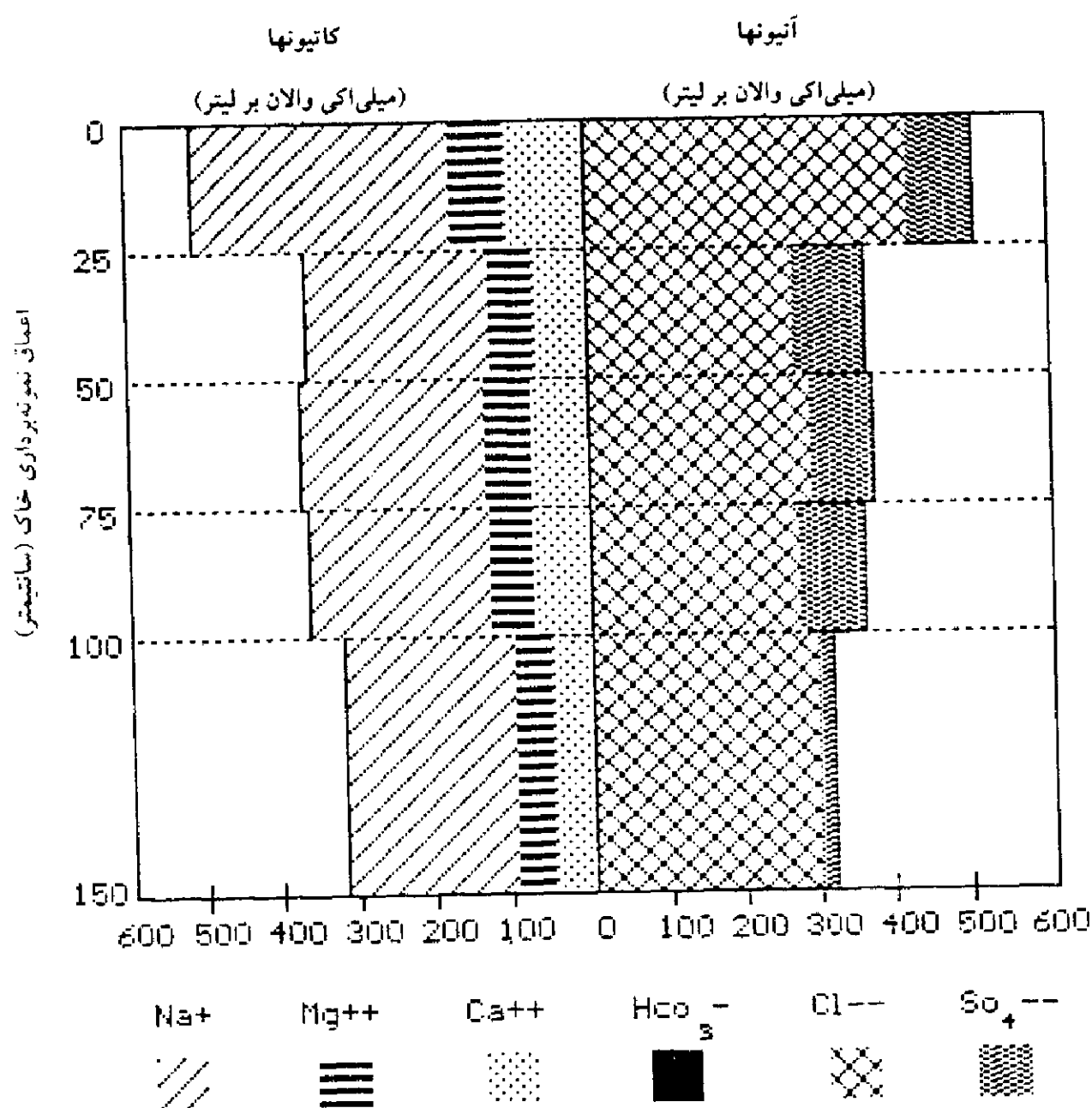


درصد سدیم تبادلی اولیه شسته شده

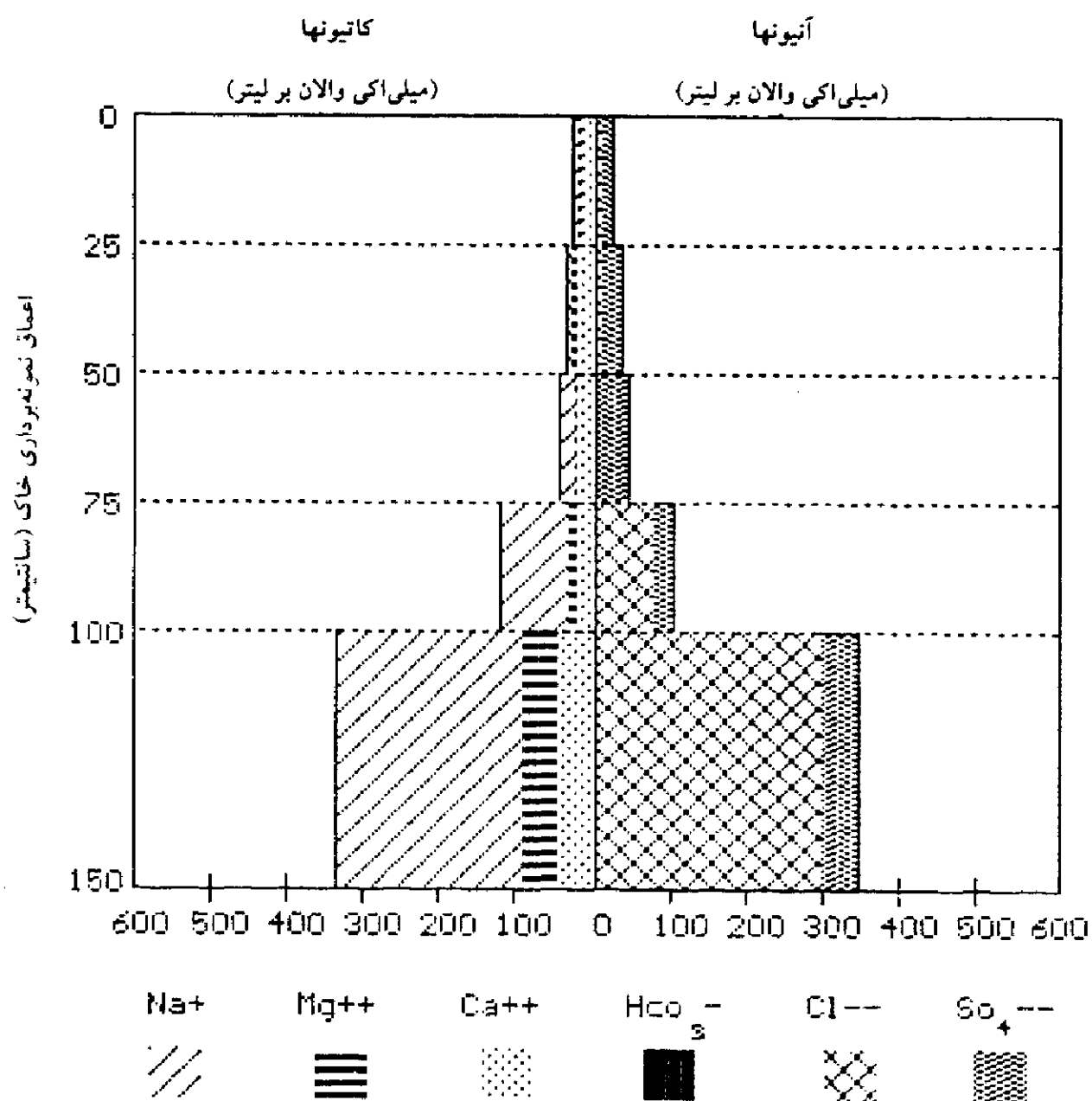


شکل ۴- رابطه بین میزان آب کاربردی با درصد سدیم تبادلی اولیه باقیمانده و شسته شده در لایه‌های مختلف نیم‌رخ خاک در آزمایش مثال شماره یک

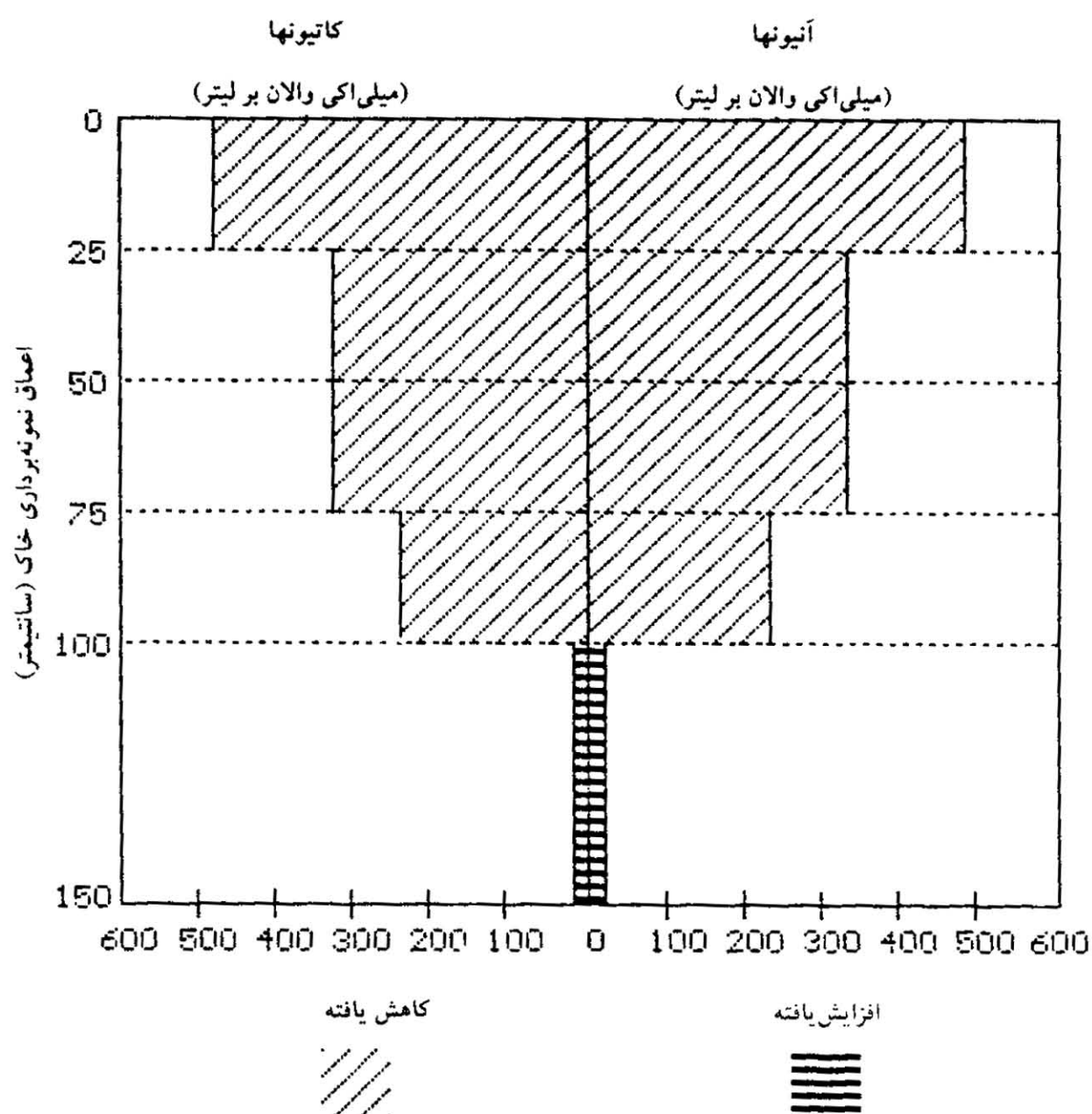
شکل ۵- چگونگی پراکنش کاتیونها و آنیونها عصاره اشباع لایه‌های مختلف خاک قبل از آبخویی املاح محلول در آزمایش مثال شماره یک



شکل ۶- چگونگی پراکنش کاتیونها و آنیونها عصاره اشباع لایه‌های مختلف خاک بعد از آبشویی املاح محلول در آزمایش مثال شماره یک



شکل ۷- تغییرات مجموع کاتیونها و آنیونها و انیونهای عصاره اشباع لایه‌های مختلف خاک طی فرآیند آبشویی املاح محلول در آزمایش مثال شماره یک



عصاره اشباع لایه‌های مختلف نیمرخ خاک را قبل و بعد از انجام مراحل آبشویی املاح نشان می‌دهد. همچنین مقادیر کاهش و با افزایش کاتیونها و آنیونها عصاره اشباع خاک لایه‌های متفاوت نیمرخ خاک طی فرآیند آبشویی (مصرف یک متر آب آبشویی) در شکل شماره (۷) نشان داده شده است. بررسی اشکال ارائه شده، این امکان را فراهم می‌سازد تا علاوه بر موارد مندرج در بالا، نوع املاح مربوط را نیز بتوان مورد بررسی و قضاوت قرار داد.

مقایسه ارقام ارائه شده در جدول مربوط (قبل و بعد از آبشویی املاح محلول با یکصد سانتیمتر آب) نمایانگر آن است که مقدار شوری عصاره اشباع خاک طی دوره آبشویی و تا عمق ۱/۵ متری نیمرخ خاک به‌طور متوسط ۲۲/۲۷ دسی‌زیمنس بر متر (dS/m) کاهش داشته که میزان آن در لایه‌های فوقانی (تا عمق یک متری) بسیار زیادتر بوده است. pH خاک نیز حدود ۰/۲۴ واحد افزایش و مقدار گچ خاک رقمی معادل ۲/۵۱ میلی‌اکی والان در صد گرم خاک کاهش نشان می‌دهد. میزان افزایش کربنات کلسیم خاک فقط ۲ درصد بوده است. مقدار درصد سدیم تبادلی خاک تا عمق ۱/۵ متری و در دوروش محاسباتی ۱۷/۹ و ۱۳/۸۶ است که نمایانگر سیر نزولی می‌باشد. روند کاهش میزان درصد سدیم تبادلی خاک در لایه‌های فوقانی بسیار قابل ملاحظه بوده است.

پ - منحنیهای شوری‌زدایی و سدیم‌زدایی خاک محل آزمایش

به‌طوری‌که قبلاً در بند الف به آن اشاره شد، روابط بین تغییرات مقادیر شوری و یا درصد سدیم تبادلی با مقادیر آب کاربردی برای خاکهای آزمایش شده ارائه گردیده است.

برای ارقام میزان هدایت الکتریکی و درصد سدیم تبادلی خاک برای اعماق مربوط با استفاده از ارقام مندرج در جداول ارائه شده (جداول تجزیه‌های شیمیایی و فیزیکی خاکها)، منحنیهای شوری‌زدایی و سدیم‌زدایی خاک محل مورد آزمایش تهیه گردیده است.

نظر به این که در ترسیم منحنیهای یاد شده، ارقام محاسبه شده (میانگین وزنی) مورد استفاده قرار گرفته است، بنابراین ترسیم منحنیهای مربوط به هر عمق به دلیل عدم تفاوت زیاد در چنین شرایطی معمول نیست.

جدول شماره (۶)، ارقام محاسبه شده برای ترسیم منحنیهای شوری‌زدایی و سدیم‌زدایی برای اعماق مربوط را نشان می‌دهد. براساس ارقام مندرج در جدول یاد شده، منحنیهای مربوط ترسیم و نتایج در اشکال شماره (۸) و (۹) نشان داده شده است. در این شکلها علائم به کار رفته دارای معانی قبلی است.

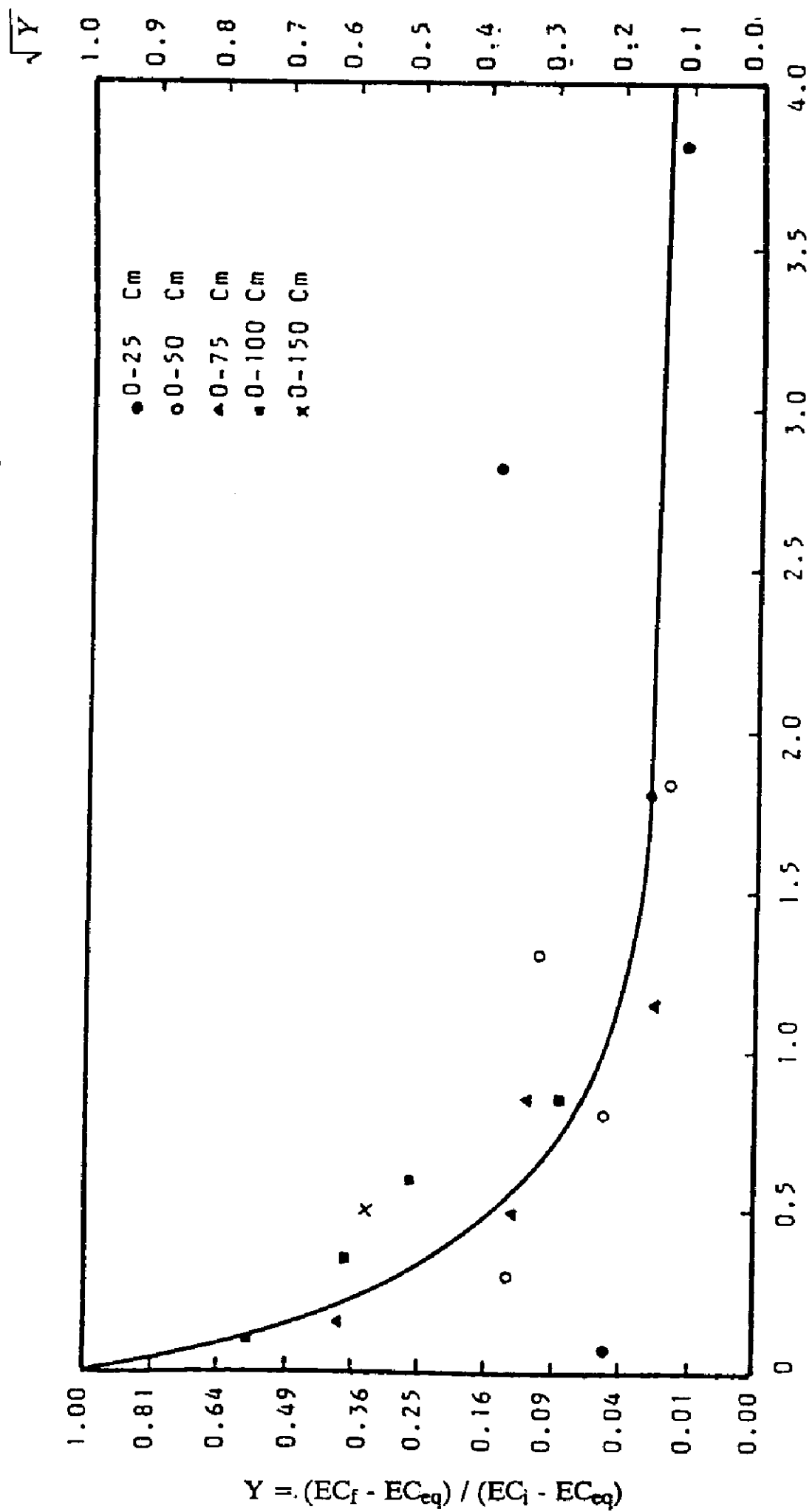
جدول ۶- ارقام مربوط به ترسیم منحنیهای شوری زدایی و سدیم زدایی خاکها در آزمایش (L_۱)

ردیف	ضخامت لایه های خاک، (سانتیمتر) (Ds)	عمق ناخالص آب آبشویی، (سانتیمتر) (Dw)	عمق خالص آب آبشویی، (سانتیمتر) (DLw)	نسبتهای مربوط		
				$\frac{DLw}{Ds}$	$\frac{ECf-ECeq}{ECi-ECeq}$	$\frac{ESPf-ESPeq}{ESPi-ESPeq}$
یک	۰ - ۲۵	۲۵	۱۹/۷۱	۰/۷۹	۰/۰۴۷	۰/۲۴۷
		۵۰	۴۴/۷۱	۱/۷۸۸	۰/۰۲۶	۰/۱۸۱
		۷۵	۶۹/۷۱	۲/۷۸۸	۰/۰۲۰	۰/۱۱۵
		۱۰۰	۹۴/۷۱	۳/۷۸۸	۰/۰۱۳	۰/۱۱۲
دو	۰ - ۵۰	۲۵	۱۵/۳۲	۰/۳۰۶	۰/۱۳۸	۰/۷۲۲
		۵۰	۴۰/۳۲	۰/۸۰۶	۰/۰۵۳	۰/۱۵۹
		۷۵	۶۵/۳۲	۱/۳۰۶	۰/۰۲۸	۰/۰۶۲
		۱۰۰	۹۰/۳۲	۱/۸۰۶	۰/۰۲۱	-
سه	۰ - ۷۵	۲۵	۱۱/۸۱	۰/۱۵۷	۰/۴۰۳	۰/۶۸۲
		۵۰	۳۶/۸۱	۰/۴۹۱	۰/۱۳۸	۰/۴۱۹
		۷۵	۶۱/۸۱	۰/۸۲۴	۰/۰۶۴	۰/۲۰۵
		۱۰۰	۸۶/۸۱	۱/۱۵۷	۰/۰۲۸	۰/۰۰۹
چهار	۰ - ۱۰۰	۲۵	۱۰/۰۳	۰/۱۰۰	۰/۵۳۱	۰/۷۸۹
		۵۰	۳۵/۰۳	۰/۳۵۰	۰/۳۰۹	۰/۵۵۱
		۷۵	۶۰/۰۳	۰/۶۰۰	۰/۲۳۶	۰/۳۲۸
		۱۰۰	۸۵/۰۳	۰/۸۵۰	۰/۰۸۸	۰/۱۱۷
پنج	۰ - ۱۵۰	۲۵	۶/۴۸	۰/۰۴۳	-	-
		۵۰	۳۱/۴۸	۰/۲۱۰	-	-
		۷۵	۵۶/۴۸	۰/۳۷۶	-	-
		۱۰۰	۸۱/۴۸	۰/۵۴۳	۰/۳۵۲	۰/۲۳۹

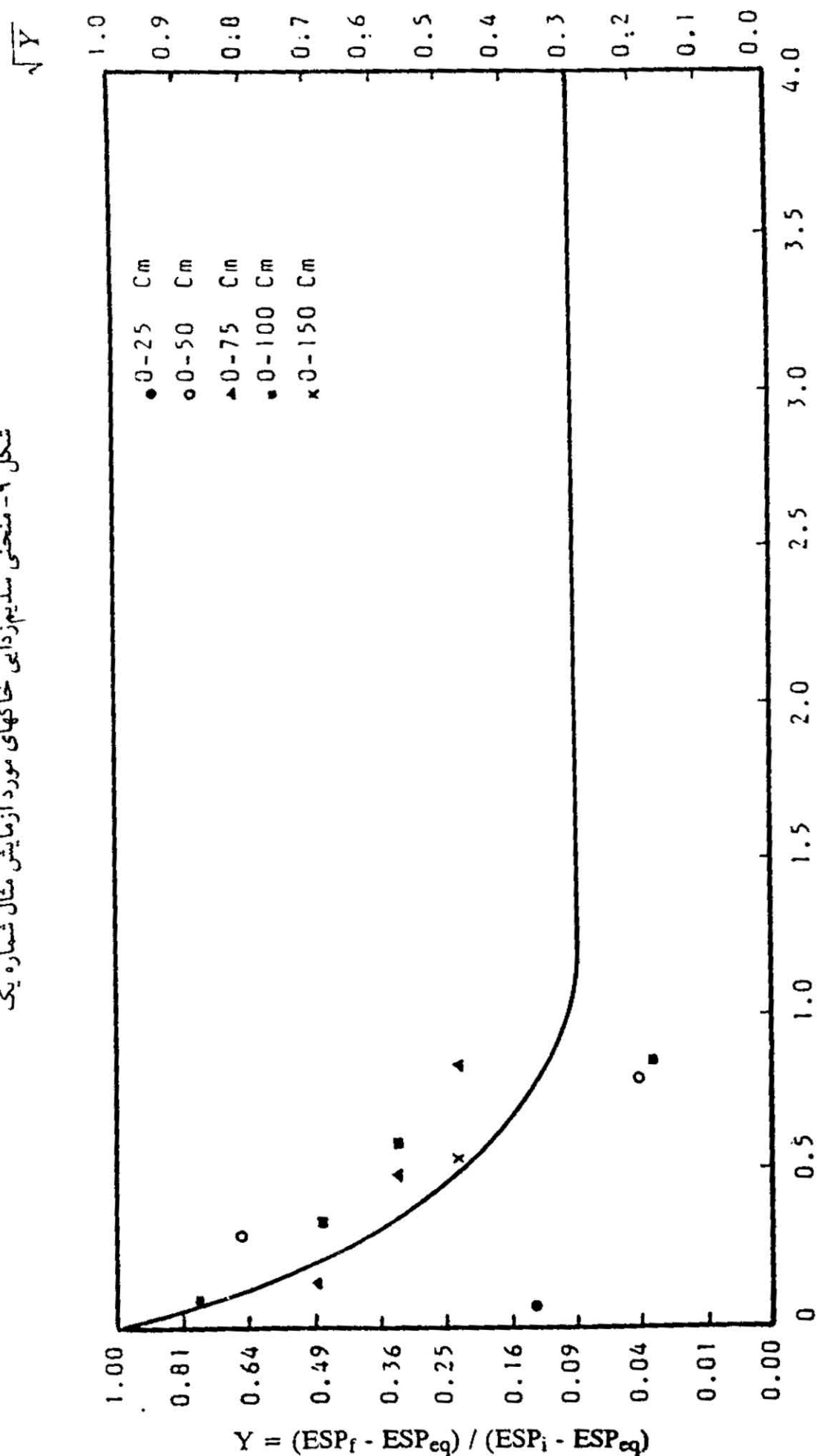
$$ECeq = ۱/۷۴ \text{ dS/m}$$

$$ESPeq = ۳/۷۸$$

شکل ۸- منحنی شوری‌زدایی خاکهای مورد آزمایش مثال شماره یک



شکل ۹- منحنی سدیم زدایی خاکهای مورد آزمایش مثال شماره یک



نسبت عمق آب آبشویی به عمق خاک (DL_w/D_s)

در خصوص کاربرد منحنیهای یاد شده، لازم است، اشاره گردد، مقادیر شوری و درصد سدیم تبادلی خاک محل مورد آزمایش می تواند در محدوده بافت خاک مورد استفاده قرار گیرد که حدود این عوامل برای شرایط این آزمایش ۲۹/۵ - ۴۶/۵ دسی زیمنس بر متر (dS/m) و ۱۴/۷ - ۴۵/۶۲ درصد بوده است. مقادیر استخراجی از منحنیهای بالا نیاز خالص آب آیشویی املاح را برآورد می نماید که ضروری است برای محاسبه کل میزان آب کاربردی برای آیشویی املاح به مقادیر تبخیر (از سطح خاک و آب)، میزان بارندگی طی دوره آیشویی و همچنین عمق آب مورد نیاز برای تأمین کسر رطوبت خاک تا عمق مربوط نیز توجه نموده و این عوامل را نیز در محاسبات منظور نمود.

موارد کاربرد عملی منحنیهای یاد شده در فصول قبل (مبحث شماره ۵-۵) به صورت مثال عددی ارائه شده است.

ت - بررسی امکانات کاربرد معادله تخمینی درصد سدیم تبادلی (ESP) خاکهای مورد آزمایش

در خصوص تعیین میزان درصد سدیم تبادلی خاکها در این آزمایش و در دوروش محاسباتی به ترتیب از معادلات شماره (۶) و (۱۴) استفاده شده است. به طوری که قبلاً نیز متذکر گردید، در بعضی از حالات، عدم هماهنگی بین ارقام حاصل از کاربرد معادلات فوق مشاهده می شود. براساس ارقام و اعداد حاصل از تجزیه های شیمیایی نمونه های خاک و برای قطعه مورد آزمایش با کاربرد اعداد نسبت جذب سدیم (SAR) و درصد سدیم تبادلی محاسبه شده (از طریق $C.E.C, Ex.Na^+$) که در حقیقت ارقام واقعی (و نه برآورد شده از رابطه SAR و ESP) می باشند و با استفاده از معادلات ذکر شده در فصول قبل ($ESR = A+B.SAR$, $ESR=ESP/(100-ESP)$ و $Y = A+B.SAR$) تجزیه و تحلیل به عمل آمد و سعی در تدوین معادله تخمینی گردید که نتیجه آن در پیوست شماره شش آمده است.

اگرچه برای آن که بتوان راجع به امتیاز رابطه به دست آمده نسبت به روابط فوق سخن گفت، لازم است آن را در مناطق مشابه در سطح وسیعتری به کار برد و نتایج حاصل از آن را بررسی کرد، اما به دلیل آن که در این رابطه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاکهای منطقه دخالت داشته است و معمولاً در روابط تجربی منطقه ای در بررسیهای خاک و آب بهترین و صحیح ترین نتیجه را می دهند، می توان آن را در مورد خاکهای مشابه منطقه مورد مطالعه در مسایل عملی تعمیم داد.

۲- مثال شماره دو

- آزمایش آیشویی املاح محلول نیمرخ خاک به وسیله آب آیشویی + اسید سولفوریک

این آزمایش در سری خاکهای گرگانه (با شماره فاز خاک ۶/۱) به مرحله اجرا درآمده است. کلاس اراضی انتخابی از

نظر شوری و سدیمی بودن، قبل از اجرای آزمایش، براساس مطالعات شناسایی خاک و طبقه‌بندی نیمه تفصیلی دقیق اراضی دشت هندیجان S_4A_3 گزارش شده است. بررسی مندرجات جدولهای شماره (۱) و (۲) که در صفحات قبل ارائه گردید و جدول شماره (۷) که در پی می‌آید نشان‌دهنده آن است که بافت خاک لایه ۵۰-۰ سانتیمتری نیمرخ خاک، سنگین تا بسیار سنگین و در لایه ۵۰-۱۰۰ سانتیمتری نسبتاً سبک، متوسط تا نسبتاً سنگین و سرانجام در لایه ۱۰۰-۱۵۰ سانتیمتری متوسط تا سبک است. هدایت هیدرولیک آن نسبتاً آهسته، عمق استقرار لایه محدود کننده محل آزمایش عمیق، سطح ایستابی خیلی عمیق و بالاخره سرعت نفوذ پایه اراضی در مراحل اولیه آزمایش سریع بوده است.

مشخصات فیزیکی لایه‌های مختلف خاک و عمق آب مورد نیاز برای تأمین کمبود رطوبت خاک لایه‌های متفاوت در جدول شماره (۷) ارائه گردیده است. بررسی ارقام مندرج در این جدول نشان‌دهنده آن است که در بین نمونه‌های مختلف آزمایش شده، درصد رطوبت خاک در حد ظرفیت مزرعه بین ۱۷/۰ و ۲۰/۹۳ و در حد نقطه پژمردگی بین ۷/۳۵ و ۹/۳۵ تغییر می‌نمود، میزان نفوذپذیری خاک کلیه اعماق نمونه‌برداری شده متوسط، وزن مخصوص حقیقی و ظاهری خاکها از حداقل ۱/۴۰ و ۲/۴۲ تا حداکثر ۱/۵۲ و ۲/۴۸ گرم بر سانتیمتر مکعب متفاوت بوده است. بدین ترتیب تخلخل کل برای خاکهای محل آزمایش از حداقل ۳۷/۷ تا حداکثر ۴۲/۱ درصد متغیر بوده است.

همین‌طور برابر ارقام ارائه گردیده در جدول فوق ملاحظه می‌شود که کمبود رطوبت لایه‌های خاک (تا حد ظرفیت مزرعه) برای لایه‌های متفاوت تا عمق نمونه‌برداری گردیده در مجموع به ۱۸/۵۲ سانتیمتر بالغ می‌گردد. بدین ترتیب از جمع ۰/۲۵ متر آب کاربردی در اولین دوره آبیویی، فقط ۶/۴۸ سانتیمتر آن می‌توانسته است به حالت نفوذ عمقی (آب ثقلی) از انتهای نیمرخ خاک تا عمق ۱/۵ متری خارج گردد. کاربرد تناوبهای بعدی آب آبیویی کلاً صرف شستشوی املاح می‌گردد؛ زیرا ستون خاک تا عمق موردنظر قبلاً حداقل در حد رطوبتی ظرفیت مزرعه و یا زیادتر از آن بوده است. بدین ترتیب در شرایط فوق از جمع یک متر عمق آب کاربردی منحصراً ۸۱/۴۸ سانتیمتر آن می‌توانسته است که به صورت نفوذ عمق و ثقلی از نیمرخ خاک تا عمق ۱/۵ متری خارج گردیده و موجب آبیویی املاح لایه‌ها مربوط گردد.

جدول ۷- مشخصات فیزیکی لایه‌های مختلف خاک و عمق آب مورد نیاز برای تأمین کمبود رطوبت خاک لایه‌های مختلف در آزمایش $(L_1 + S)$

ردیف	عمق نمونه برداری (سانتیمتر)	ضخامت لایه خاک (سانتیمتر) (a)	بافت خاک	درصد رطوبت (وزنی)			وزن مخصوص (گر م بر سانتیمتر مکعب)		تخلخل کل درصد	نفوذپذیری خاک		عمق آب مورد نیاز (سانتیمتر) برای تأمین کمبود رطوبت $H = \frac{(b-c).d.a}{100}$
				حد نقطه پژمردگی	صحرايي (c)	حد ظرفیت مزرعه‌ای (b)	ظاهری (d)	حقیقی		میلیمتر بر ساعت	نام توصیفی	
۱	۰ - ۲۵	۲۵	Clay Loam تا Silty Clay	۸/۸۷	۵/۸	۲۰/۹۳	۱/۴۰	۲/۴۲	۴۲/۱	۱۰/۵	متوسط	۵/۲۹
۲	۲۵ - ۵۰	۲۵	Silty Clay Loam	۷/۳۵	۷/۱	۱۸/۶۵	۱/۵۲	۲/۴۴	۳۷/۷	۱۶/۶	متوسط	۴/۳۹
۳	۵۰ - ۷۵	۲۵	Sandy Loam تا Clay Loam	۹/۳۵	۷/۵	۱۷/۰	۱/۴۸	۲/۴۸	۴۰/۳۲	۱۰/۵	متوسط	۳/۵۱
۴	۷۵ - ۱۰۰	۲۵	Clay Loam تا Loam	۹/۳۵	۱۲/۲	۱۷/۰	۱/۴۸	۲/۴۸	۴۰/۳۲	۱۰/۵	متوسط	۱/۷۸
۵	۱۰۰ - ۱۵۰	۵۰	Silt Loam تا Loamy Sand	۹/۳۵	۱۲/۲	۱۷/۰	۱/۴۸	۲/۴۸	۴۰/۳۲	۱۰/۵	متوسط	۳/۵۵

در این آزمایش از پنج تن خالص اسید سولفوریک با درجه خلوص ۹۵ درصد استفاده گردیده است^۱ و انجام آبخوبی املاح و استمرار آن، به وسیله آب کاربردی مورد بررسی قرار گرفته است. کیفیت آب مورد مصرف در این آزمایش قبلاً در جدول شماره (۲) ارائه گردیده است. بررسی مندرجات این جدول بیانگر آن است که آب مورد مصرف در این آزمایش، در طبقه بندی آزمایشگاه شوری ایالات متحده آمریکا (نمودار ویلکوکس) در کلاس $S_1 - C_3$ (به معنی خطرات شوری زیاد و گزند قلیائیت کم) قرار می گیرد و از نظر pH حالت نرمال دارد. بررسی نوسان تغییرات آب مورد مصرف (رودخانه زهره در استان خوزستان) نشان می دهد که در کلیه فصول سال به علت تفوق مقادیر یونهای (کلسیم + منیزیم) بر (بی کربنات + کربنات)، از نظر کربنات سدیم باقی مانده «مسأله ساز» نمی باشد.

در اولین دور کاربرد ۲۵/۰ متر آب آبخوبی املاح، سرعت نفوذ آب به خاک از محل سه استوانه مضاعف اندازه گیری گردید. در آخرین دور کاربرد ۲۵/۰ متر آب آبخوبی (که در این حالت عمق آب کاربردی حدوداً به یک متر می رسد) سرعت نفوذ آب به خاک به برای قضاوت در مورد چگونگی تغییرات سرعت نفوذ پذیری خاک اندازه گیری گردیده است، بررسی ارقام حاصل و تحلیل آنها نمایانگر آن است که سرعت نفوذ پایه اراضی که در اولین دور کاربرد آب آبخوبی معادل ۱/۰۶ سانتیمتر در ساعت و از نظر توصیفی سریع بوده است، پس از نفوذ یک متر آب اندکی کاهش حاصل نمود، به طوری که مقدار عددی آن به ۰/۹۶ سانتیمتر در ساعت و از نظر توصیفی به متوسط تغییر وضعیت حاصل نموده است؛ لیکن به دلیل آن که میزان نقصان فقط معادل یک میلیمتر در ساعت آن هم در شرایط اندازه گیری مزرعه ای بوده است. از این نظر نمی توان آن را با قاطعیت کاهش، بلکه باید «عدم تغییر» سرعت نفوذ پایه اراضی استنباط نمود.

۱-۲ کیفیت شیمیایی خاک قبل از انجام آبخوبی

جداول شماره (۸) و (۹) نتایج تجزیه شیمیایی نمونه های خاک اعماق مربوط را قبل و پس از کاربرد هر تناوب ۲۵/۰ متری آب آبخوبی نشان می دهد. بررسی نتایج ارائه شده در جداول فوق نمایانگر آن است که: کیفیت شیمیایی خاک تا عمق ۱/۵ متری فوق العاده شور و به میزان زیادی سدیمی بوده است (به جز طبقه ۱-۱/۵ متری و در روش محاسباتی اول). میزان شوری با افزایش عمق خاک کاهش می یابد و مقدار سدیمی بودن آن تا عمق حدوداً یک متری نشان از افزایش دارد. (در روش محاسباتی اول درصد سدیم تبدلی، لیکن میزان پراکنش این فاکتور در روش محاسباتی دوم به جز لایه های ۰-۲۵ و ۵۰-۷۵ سانتیمتری حدوداً توزیع یکنواخت داشته). میزان pH خاک از حداقل ۶/۸ (در لایه سطحی) تا حداکثر ۷/۴ (در لایه تحتانی) متغیر بوده است. میزان گچ خاک به جز طبقه ۰-۲۵ سانتیمتری که مقدار آن متوسط بوده در سایر لایه های به میزان کمی وجود داشته که تراکم آن با عمق خاک افزایش حاصل می نمود. درصد کربنات کلسیم با پراکنش حدوداً یکنواخت تا عمق ۷۵/۰ متری و میزان آن به خصوص در لایه های ۷۵ - ۱۵۰ سانتیمتری فوق العاده زیاد گزارش گردیده است، مقادیر درصد سدیم تبدلی تقریباً در کلیه اعماق نمونه برداری شده عدم هماهنگی بسیار مشهودی را نمودار می سازد.

۱- نحوه کاربرد اسید سولفوریک به طریق پاشش بر روی سطح خاک داخل استوانه های مضاعف بوده است.

جدول ۸- تغییرات کیفیت شیمیایی خاک قبل و بعد از کاربرد یک متر آب آبخویی در آزمایش (S + L_۱)

عمق نمونه برداری (سانتیمتر)	درصد اشباع SP	هدایت الکتریکی ECe دسی زیمنس بر متر (dS/m)	pH عصاره اشباع خاک	درصد مواد خشتی شونده T.N.V.	گچ $So_4Ca_2H_2O$ (میلی اکی والان در صد گرم خاک)	ظرفیت کاتیونهای تبادل (میلی اکی والان در صد گرم خاک) C.E.C	سدیم تبادلی (میلی اکی والان در صد گرم خاک) $Ex.Na^+$	نسبت جذب سدیم SAR	درصد سدیم تبادلی ESP (۱)	درصد سدیم تبادلی ESP (۲)
۰ - ۲۵	۳۶/۰۰ ۳۸/۰۰	۵۵/۱۰ ۲/۸۰	۶/۸۰ ۷/۶۰	۳۰/۰۰ ۳۸/۷۰	۸/۱۴ ۱/۴۰	۲۰/۱۷ ۱۱/۶۰	۳/۳۴ ۰/۴۰	۴۲/۷۶ ۲/۸۳	۱۶/۵۶ ۳/۴۵	۳۸/۲۰ ۲/۸۳
۲۵ - ۵۰	۳۰/۰۰ ۳۴/۸۰	۳۹/۷۰ ۳/۰۰	۶/۹۰ ۷/۵۰	۳۸/۰۰ ۳۵/۷۰	۱/۹۱ ۱/۴۰	۱۰/۳۸ ۱۱/۱۰	۳/۴۹ ۰/۳۰	۳۲/۵۰ ۱/۹۵	۳۳/۶۲ ۲/۷۰	۳۱/۸۲ ۱/۵۹
۵۰ - ۷۵	۳۴/۰۰ ۳۴/۳۰	۴۳/۲۰ ۳/۷۰	۷/۰۰ ۷/۶۰	۳۹/۰۰ ۳۵/۷۰	۲/۹۹ ۴/۹۰	۱۵/۰۲ ۱۰/۹۰	۳/۴۰ ۰/۵۰	۳۶/۳۲ ۴/۹۲	۲۲/۶۴ ۴/۵۹	۳۴/۳۵ ۵/۶۶
۷۵ - ۱۰۰	۳۱/۰۰ ۳۳/۰۰	۳۶/۰۰ ۸/۱۰	۷/۰۰ ۷/۶۰	۴۶/۰۰ ۴۱/۷۰	۲/۶۹ ۵/۴۰	۸/۴۴ ۱۴/۰۸	۶/۰۱ ۱/۷۰	۳۷/۰۲ ۲۱/۲۳	۴۵/۷۳ ۱۲/۰۷	۳۴/۸۰ ۲۳/۱۱
۱۰۰ - ۱۵۰	۲۷/۰۰ ۲۹/۷۰	۲۸/۹۰ ۲۹/۰۰	۷/۴۰ ۷/۱۰	۵۶/۰۰ ۴۵/۳۰	۳/۸۱ ۱۵/۰۰	۱۶/۳۵ ۱۱/۰۰	۲/۲۵ ۲/۹۰	۲۹/۹۱ ۳۵/۰۷	۱۳/۷۶ ۲۶/۳۶	۳۰/۰۰ ۳۳/۵۴

(۱) محاسبه شده از معادله شماره (۶)

(۲) برآورد گردیده از رابطه شماره (۱۴)

- ارقام ردیف بالا در متن جدول مربوط به قبل و ارقام ردیف پایین مربوط به پس از آبخویی می باشد (کلیه ارقام قبل از آبخویی نتیجه آزمایش یک نمونه مرکب و ارقام پس از آبخویی میانگین آزمایش سه نمونه است).

ادامه جدول ۸- تغییرات کیفیت شیمیایی خاک قبل و بعد از کاربرد یک متر آب آشویی در آزمایش (L_۱ + S)

کاتیونها و آنیونهای عصاره اشباع خاک، میلی‌اکی‌والان بر لیتر									عمق
نمونه‌برداری (سانتیمتر)	کربنات* CO ₃ ^{۲-}	بیکربنات HCO ₃ ^{۱-}	کلر CL ^{۱-}	سولفات SO ₄ ^{۲+}	مجموع آنیونها	کلسیم Ca ^{۲+}	منیزیم Mg ^{۲+}	سدیم Na ^{۱+}	مجموع کاتیونها
۰ - ۲۵	-	۱/۵۰	۱۶/۲۰	۲۰/۱۰	۳۷/۸۰	۲۳/۱۰	۲/۹۰	۱۰/۲۰	۳۶/۲۰
۲۵ - ۵۰	-	۱/۷۰	۷/۹۰	۳۴/۳۰	۴۳/۹۰	۲۵/۶۰	۸/۱۰	۸/۰۰	۴۱/۷۰
۵۰ - ۷۵	-	۱/۴۰	۱۴/۳۰	۳۶/۰۰	۵۱/۷۰	۲۴/۵۰	۷/۹۰	۱۹/۸۰	۵۲/۲۰
۷۵ - ۱۰۰	-	۱/۸۰	۴۹/۷۰	۵۳/۹۰	۱۰۵/۴۰	۱۸/۷۰	۷/۶۰	۷۷/۰۰	۱۰۳/۳۰
۱۰۰ - ۱۵۰	-	۱/۴۰	۲۵۷/۲۰	۶۲/۳۰	۳۲۰/۹	۴۵/۵۰	۴۱/۴۰	۲۳۱/۲۰	۳۱۸/۱

-رقمی گزارش نگردیده

-ارقام ردیف بالادر متن جدول مربوط به قبل و ارقام ردیف پایین مربوط به پس از آشویی می‌باشد (کلیه ارقام قبل از آشویی نتیجه آزمایش یک نمونه مرکب و ارقام پس از آشویی میانگین آزمایش سه نمونه است).

جدول ۹- تغییرات کیفیت شیمیایی خاک به ازای مقادیر متفاوت آب آبخویی در آزمایش (S + L)

عمق آب آبخویی سانتیمتر	اعماق نمونه برداری خاک سانتیمتر	ECe دسی زیمنس بر متر (dS/m)	میلی اکی والان در یکصد گرم خاک		ESP (۱)	میلی اکی والان بر لیتر			SAR	ESP (۲)
			Ex.Na ⁺	C.E.C		Na ⁺	Ca ^{۲+}	Mg ^{۲+}		
۲۵	۰ - ۲۵	۳/۴۰	۱/۱۰	۱۳/۴۰	۸/۲۱	۳۴/۵۰	۲۵/۲۰	۶/۳۰	۸/۶۹	۱۰/۳۶
	۲۵ - ۵۰	۱۰/۷۰	۵/۲۰	۱۲/۰۰	۴۳/۳۳	۴۲/۷۰	۲۲/۴۰	۱۳/۰۰	۱۰/۱۵	۱۲/۰۶
	۵۰ - ۷۵	۳۵/۷۰	۳/۱۰	۱۰/۰۰	۳۱/۰۰	۳۵۲/۷۰	۵۰/۰۰	۵۰/۳۰	۴۹/۸۰	۴۱/۹۳
	۷۵ - ۱۰۰	۴۲/۶۰	۴/۵۰	۱۲/۲۰	۳۶/۸۹	۳۸۴/۲۰	۷۱/۴۰	۶۹/۱۰	۴۵/۸۴	۳۹/۸۹
۵۰	۰ - ۲۵	۲/۷۰	۰/۵۰	۱۷/۱۰	۲/۹۲	۷/۴۰	۲۷/۶۰	۴۳/۸۰	۱/۲۴	۰/۵۶
	۲۵ - ۵۰	۳/۷۰	۱/۳۰	۱۱/۲۰	۱۱/۶۱	۲۰/۶۰	۲۳/۴۰	۸/۸۰	۵/۱۳	۵/۹۴
	۵۰ - ۷۵	۸/۶۵	۴/۱۰	۱۶/۳۷	۲۵/۰۵	۷۷/۳۰	۲۲/۲۰	۹/۳۰۰	۱۹/۴۸	۲۱/۵۵
	۷۵ - ۱۰۰	۴۱/۲۰	۴/۳۰	۱۵/۲۰	۲۸/۲۹	۳۸۷/۹۰	۶۷/۹۰	۶۴/۰۰	۴۷/۷۷	۴۰/۹۰
۷۵	۰ - ۲۵	۲/۸۰	۰/۶۰	۱۱/۴۰	۵/۲۶	۸/۷۰	۲۷/۳۰	۳/۰۰	۲/۲۴	۲/۰۰
	۲۵ - ۵۰	۲/۸۰	۰/۴۰	۱۱/۵۰	۳/۴۸	۷/۳۰	۲۳/۷۰	۷/۵۰	۱/۸۵	۱/۴۴
	۵۰ - ۷۵	۵/۰	۲/۶۰	۱۰/۰۰	۲۶/۰۰	۳۵/۷۰	۱۹/۲۰	۷/۳۰	۹/۸۳	۱۱/۶۹
	۷۵ - ۱۰۰	۱۴/۰	۳/۳۰	۸/۸۰	۳۷/۵۰	۸۹/۸۰	۲۰/۱۰	۱۳/۸۰	۲۱/۸۱	۲۳/۶۱

(۱) محاسبه شده از معادله شماره (۶)

(۲) برآورد گردیده از رابطه شماره (۱۴)

- ارقام میانگین سه نمونه تجزیه است.

به‌طور کلی تا عمق ۱/۵ متری نیم‌رخ خاک یونهای غالب در عصاره اشباع خاک را در درجه نخست کلر، سدیم و کلسیم و پس از آن سولفات، منیزیم و بیکربنات تشکیل می‌دهد است. این در شرایطی است که عصاره اشباع خاک کلاً فاقد یون کربنات گزارش گردیده است. بدین ترتیب نتیجه می‌شود که املاح خاک را عمدتاً کلرور (در مرحله اول کلرور سدیم) و سولفاتهای سدیم، کلسیم و منیزیم تشکیل می‌دهد وجود چنین املاحی در لایه‌های مختلف نیم‌رخ خاک به علت دارا بودن قابلیت انحلال زیاد امکان امر آبشویی آنها را از ستون خاک تسهیل می‌نموده است.

به‌طور متوسط میزان هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک تا عمق ۱/۵ متری برابر با ۳۸/۶۳ دسی‌زیمنس بر متر (dS/m) میزان pH، گچ و کربنات کلسیم خاک به ترتیب ۷/۰۸، ۳/۸۹ میلی‌اکی والان در صد گرم خاک خشک و ۴۵/۱۷ درصد بوده است. درصد سدیم تبدلی مربوط به لایه فوق و در دوش محاسباتی به ترتیب برابر با ۲۴/۳۵ و ۳۳/۱۰ گزارش شده است.

۲-۲ تغییرات کیفی خاک پس از کاربرد ۱۰۰ سانتیمتر آب آبشویی و با مصرف اسیدسولفوریک غلیظ

قبل و پس از نفوذ هر ۰/۲۵ متر عمق آب آبشویی (در چهار تناوب که جمعاً عمق آب کاربردی را به یک متر می‌رسانید)، نمونه خاک تهیه و برای تجزیه‌های ضروری (عوامل شوری و سدیمی بودن) شامل: هدایت الکتریکی، ظرفیت کاتیونهای تبدلی، میزان سدیم قابل تبادل و بالاخره کاتیونها و آنیونهای عصاره اشباع خاک (برای محاسبه نسبت جذب سدیم و نهایتاً برآورد درصد سدیم تبدلی خاک) به آزمایشگاه ارسال گردیده. قبل و بعد از اتمام آزمایشها، اسیدپته، گچ و آهک نیز اندازه‌گیری شد. که نتایج این آزمایشها در جدولهای مربوط ارائه شده است. بررسیهای انجام شده نشان می‌دهد که:

الف - بررسی تغییرات شوری و درصد سدیم تبدلی (سدیمی بودن) خاک طی دوره آبشویی املاح

برابر ارقام مندرج در جدولهای فوق و با استفاده از ارقام هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک و درصد سدیم تبدلی اندازه‌گیری شده (از طریق میزان سدیم تبدلی و ظرفیت کاتیونهای تبدلی نمونه خاک)، میانگین وزنی عوامل مذکور برای لایه‌های ۰-۲۵، ۰-۵۰، ۰-۷۵ و ۰-۱۰۰ سانتیمتری محاسبه و سپس نسبت به تهیه شکل‌های شماره (۱۰)، (۱۱)، (۱۲)، (۱۳) براساس روابط زیر اقدام شد:

- رابطه بین تغییرات میزان شوری لایه‌های مختلف نیم‌رخ خاک به ازای مقادیر مختلف آب کاربردی (آب آبشویی ناخالص یا Dw)،

- رابطه بین میزان آب کاربردی با درصد املاح اولیه باقی مانده و شسته شده در لایه‌های مختلف نیمرخ خاک،
- رابطه بین تغییرات میزان درصد سدیم تبادلی لایه‌های مختلف نیمرخ خاک به ازای مقادیر مختلف آب کاربردی (آب آبشویی ناخالص یا D_w)،
- رابطه بین میزان آب کاربردی با درصد سدیم تبادلی اولیه باقی مانده و شسته شده در لایه‌های مختلف نیمرخ خاک.

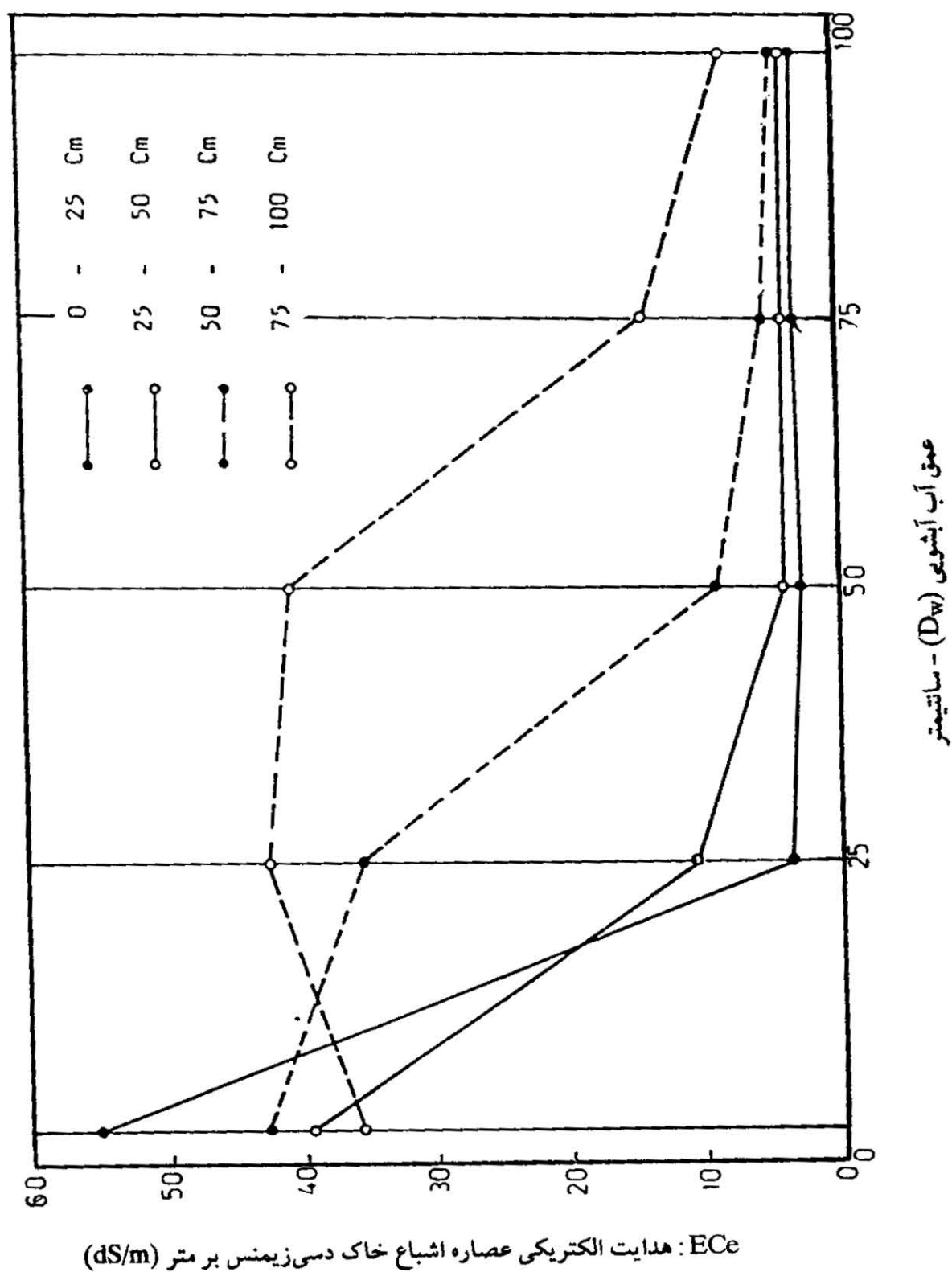
در این شکلها علائم بکار رفته دارای معانی پیشین می‌باشد.

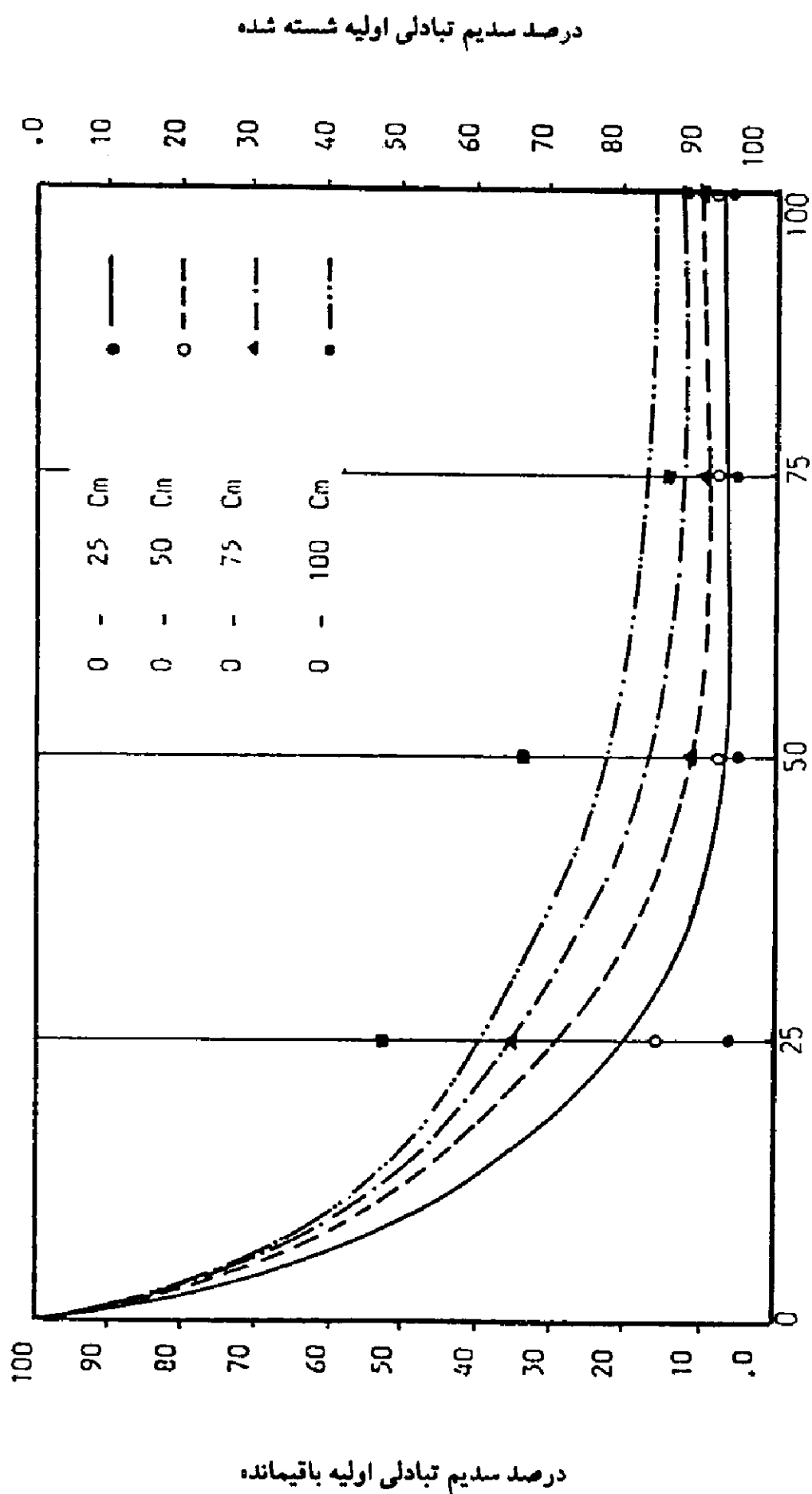
ب - کیفیت شیمیایی خاک پس از انجام مراحل آبشویی

مروری بر ارقام به دست آمده از تجزیه آزمایشگاهی نمونه‌ها پس از آبشویی با یک متر آب بر اساس جداول مربوط نمایانگر آن است که:

- به‌طور کلی تا عمق یک متری نیمرخ خاک، مقادیر شوری و سدیمی بودن خاک (در هر دوروش محاسباتی) کاهش بسیار قابل ملاحظه‌ای حاصل نموده‌اند که شدت این میزان نقصان تا عمق 0.75 متری از سطح خاک فوق‌العاده شدید بوده است. به‌طوری‌که برای سه لایه $0-50$ ، $50-100$ و $100-150$ سانتیمتری نیمرخ خاک، میزان متوسط هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک به ترتیب به 2.90 ، 4.40 و 12.67 دسی‌زیمنس بر متر (dS/m) کاهش حاصل نمود. مقدار pH مربوط به عمق $1/5$ متری نیمرخ خاک 7.42 (کمی افزایش نشان داد) و مقادیر گچ برای اعماق فوق‌الذکر به ترتیب به $1/4$ ، $3/27$ و $7/18$ میلی‌اکی‌والان در یکصد گرم خاک خشک و مقادیر آهک (با پراکنش تقریباً یکنواخت تا عمق 0.75 متری) به ترتیب به $37/2$ ، $37/95$ و $40/40$ درصد بالغ گردید. مقادیر درصد سدیم تبادلی خاک برای سه لایه موردنظر به ترتیب در روش محاسباتی اول به $3/07$ ، $5/70$ و $12/59$ و در روش محاسباتی دوم به $2/21$ ، $8/30$ و $16/71$ رسیده است.
- برای مجموع سه لایه یاد شده کاتیونهای غالب عصاره اشباع خاک سدیم، کلسیم و منیزیم و آنیونهای غالب آن به ترتیب کلر، سولفات و بی‌کربنات بوده است. شکلهای شماره (۱۴) و (۱۵) چگونگی پراکنش کاتیونها و آنیونهای عصاره اشباع لایه‌های مختلف نیمرخ خاک را قبل و بعد از انجام مراحل آبشویی املاح نشان می‌دهد. همچنین مقادیر کاهش و یا افزایش کاتیونها و آنیونهای عصاره اشباع خاک لایه‌های متفاوت نیمرخ خاک طی فرآیند آبشویی (مصرف یک متر آب آبشویی) در شکل شماره (۱۶) نشان داده شده است. بررسی اشکال ارائه شده، این امکان را فراهم می‌سازد تا علاوه بر موارد مندرج در بالا، نوع املاح مربوط را نیز بتوان مورد بررسی و قضاوت قرار داد.

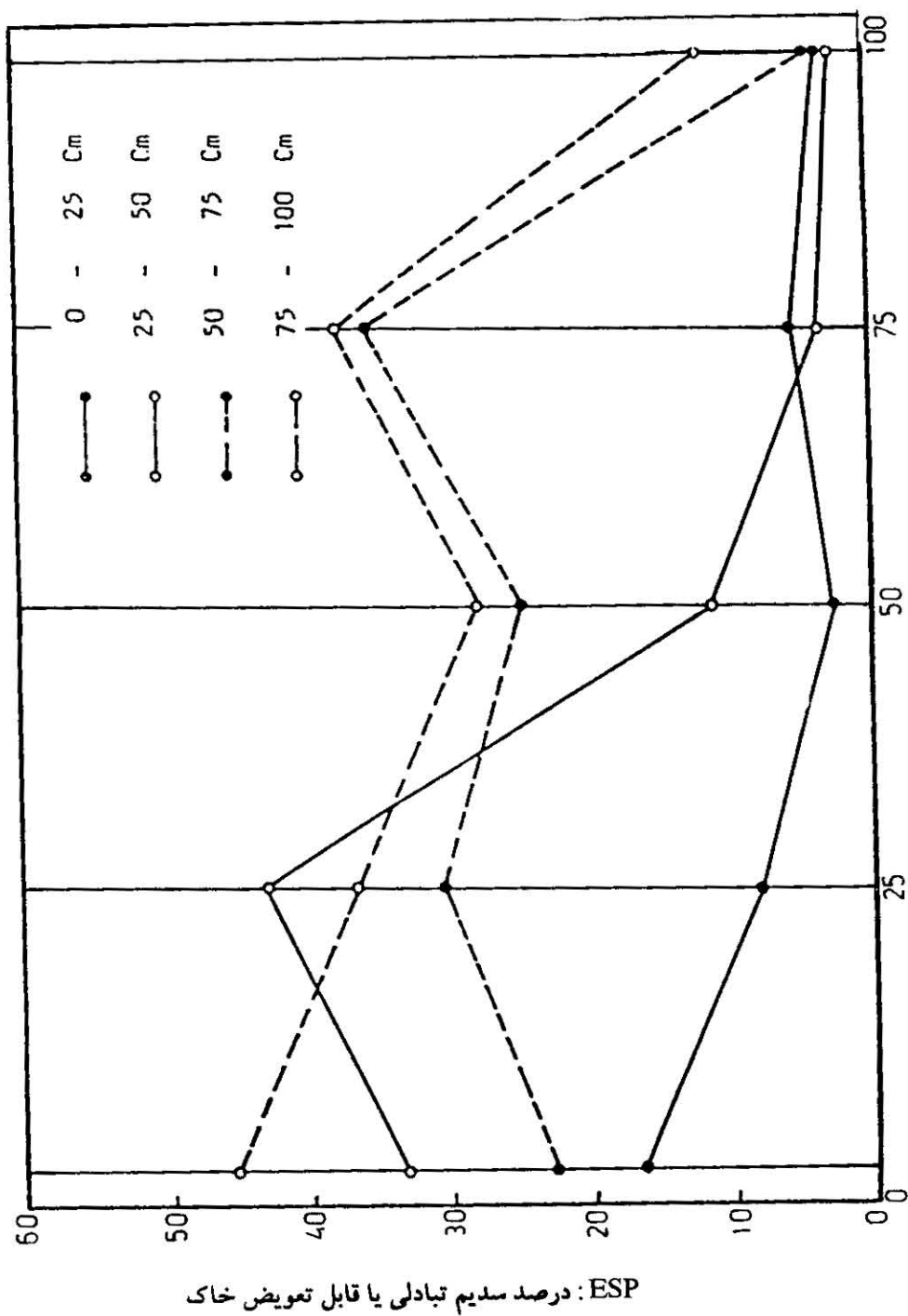
شکل ۱۰- رابطه بین تغییرات میزان شوری لایه‌های مختلف نیمرخ خاک به ازاء مقادیر مختلف آب کاربردی در آزمایش مثال شماره دو



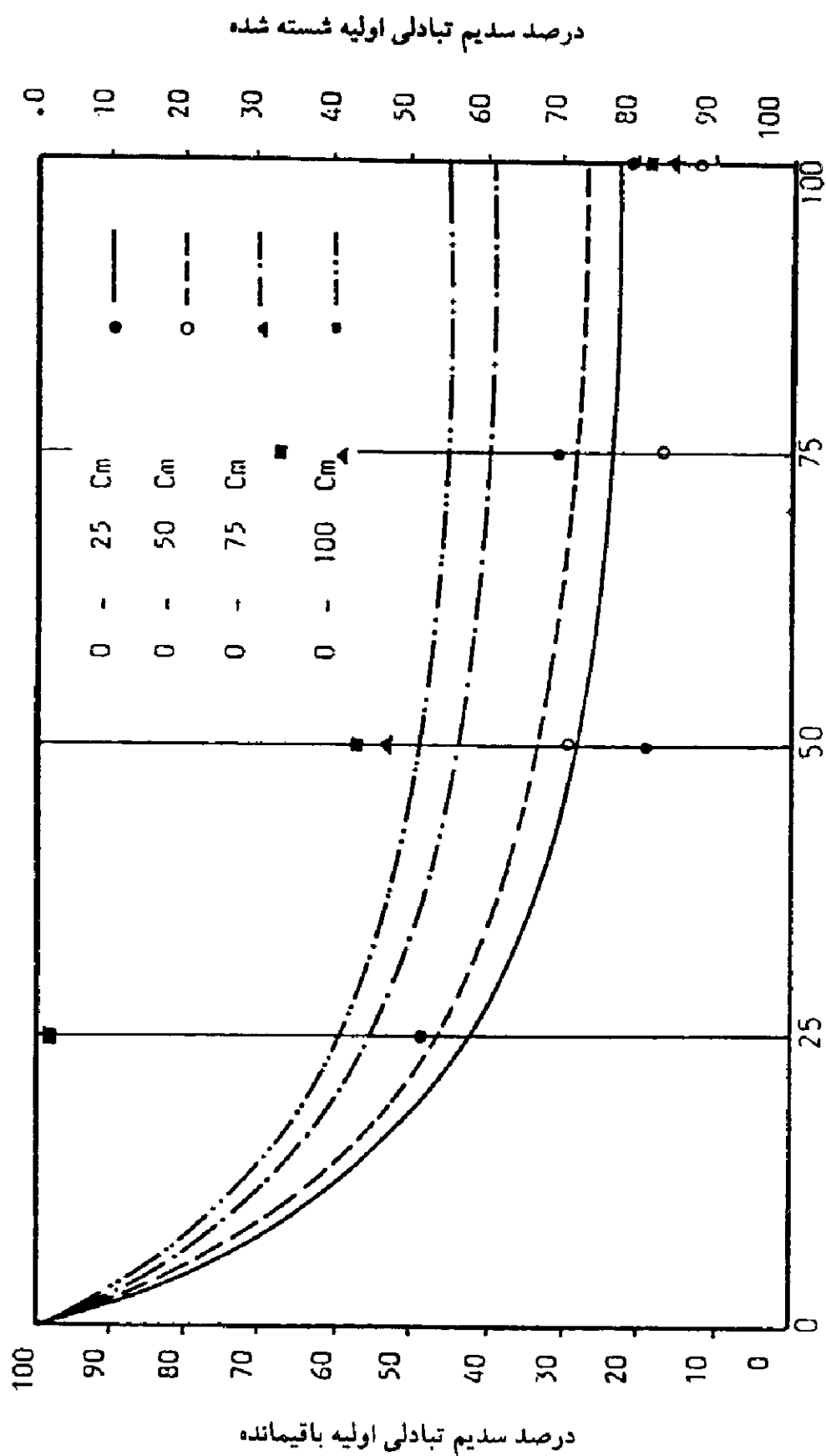


شکل ۱۱- رابطه بین میزان آب کاربردی با درصد املاح اولیه باقیمانده و شسته شده در لایه‌های مختلف نیرخ خاک در آزمایش مثال شماره دو

شکل ۱۲- رابطه بین تغییرات میزان درصد سدیم تبادل لایه‌های مختلف نیمرخ خاک به ازاء مختلف آب کاربردی در آزمایش مثال شماره دو



شکل ۱۳- رابطه بین میزان آب کاربردی با درصد سدیم تبادلی اولیه باقیمانده و شسته شده
لایه‌های مختلف نیمرخ خاک در آزمایش مثال شماره دو

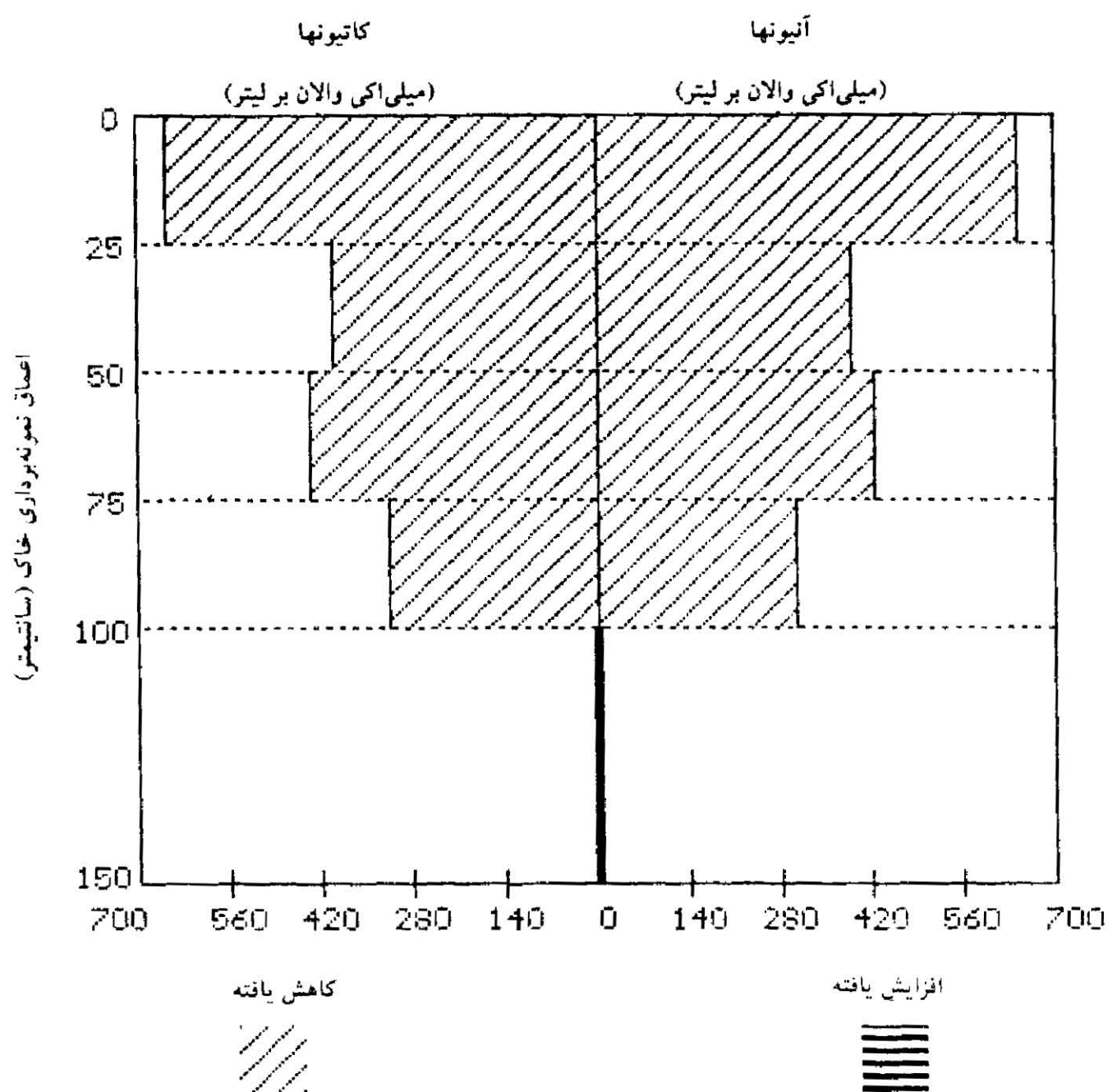


عمق آب آیشویی (D_w) - سانتیمتر

املاح محلول در آزمایش مثال شماره دو



شکل ۱۶- تغییرات مجموع کاتیونها و آنیونها عصاره اشباع لایه‌های مختلف خاک طی فرآیند آبشویی املاح محلول در آزمایش مثال شماره دو



مقایسه ارقام ارائه شده در جدولهای مربوط به قبل و بعد از انجام آبخویی با ۱۰۰ سانتیمتر عمق آب کاربردی و پنج تن اسید سولفوریک غلیظ در هکتار نمایانگر آن است که مقدار شوری عصاره اشباع خاک طی دوره آبخویی و تا عمق ۱/۵ متری به طور متوسط ۲۵/۹۶ دسی‌زیمنس بر متر (dS/m) کاهش داشته که حد این میزان کاهش در لایه‌های فوقانی (و تا عمق ۱ متری) بسیار زیادتر بوده است. pH خاک حدود ۰/۳۴ واحد و مقدار گچ خاک رقمی معادل ۳/۲۹ میلی‌اکی والان در صدگرم خاک خشک افزایش داشته است. میزان کاهش درصد کربنات کلسیم خاک فقط ۴/۷۷ و کاهش مقدار درصد سدیم تبادلی خاک تا عمق ۱/۵ متری و در دوروش محاسباتی به ترتیب ۱۱/۷۶ و ۱۶/۴۸ بوده است. روند نقصان میزان درصد سدیم تبادلی خاک در لایه‌های فوقانی بسیار قابل ملاحظه بوده است.

پ - منحنیهای شوری‌زدایی و سدیم‌زدایی خاک محل آزمایش

به طوری که قبلاً در بند الف به آن اشاره شد، روابط بین تغییرات مقادیر شوری و یا درصد سدیم تبادلی با مقادیر آب کاربردی برای خاکهای آزمایش شده ارائه گردیده است. بر اساس ارقام میزان هدایت الکتریکی و درصد سدیم تبادلی خاکها و برای اعماق مربوط با استفاده از ارقام مندرج در جداول ارائه شده (جداول تجزیه‌های شیمیایی و فیزیکی خاکها)، منحنیهای شوری‌زدایی و سدیم‌زدایی خاک محل مورد آزمایش تهیه گردیده است. نظر به این که در ترسیم منحنیهای فوق‌الذکر، ارقام محاسبه شده (میانگین وزنی) مورد استفاده قرار گرفته است بنابراین ترسیم منحنیهای مربوط به هر عمق به دلیل عدم تفاوت زیاد در چنین شرایطی معمولاً مرسوم نیست.

جدول شماره (۱۰)، ارقام محاسبه شده برای ترسیم منحنیهای شوری‌زدایی و سدیم‌زدایی برای اعماق مربوط را نشان می‌دهد. بر اساس ارقام مندرج در جدول فوق، در این خصوص اقدام به عمل آمد که نتایج در اشکال شماره (۱۷) و (۱۸) نشان داده شده است. در اشکال بالا علایم به کار رفته دارای معانی قبلی است. در مورد کاربرد منحنیهای فوق‌الذکر لازم است، متذکر گردد که کاربرد آن در محدوده بافت خاک، مقادیر شوری و درصد سدیم تبادلی خاک محل مورد آزمایش می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد که حدود عوامل فوق برای شرایط این آزمایش ۲۸/۹ - ۵۵/۱ دسی‌زیمنس بر متر (dS/m) و ۱۳/۷۶ - ۴۵/۷۴ درصد بوده است.

مقادیر استخراجی از منحنیهای فوق‌الذکر نیاز خالص آب آبخویی املاح را برآورد می‌نماید که ضروری است، برای محاسبه کل میزان آب کاربردی برای آبخویی املاح به مقادیر تبخیر (از سطح خاک و آب)، میزان بارندگی طی دوره آبخویی و همچنین عمق آب مورد نیاز برای تأمین کمبود رطوبت خاک تا عمق مربوط نیز توجه نمود و این عوامل را نیز در محاسبات منظور نمود.

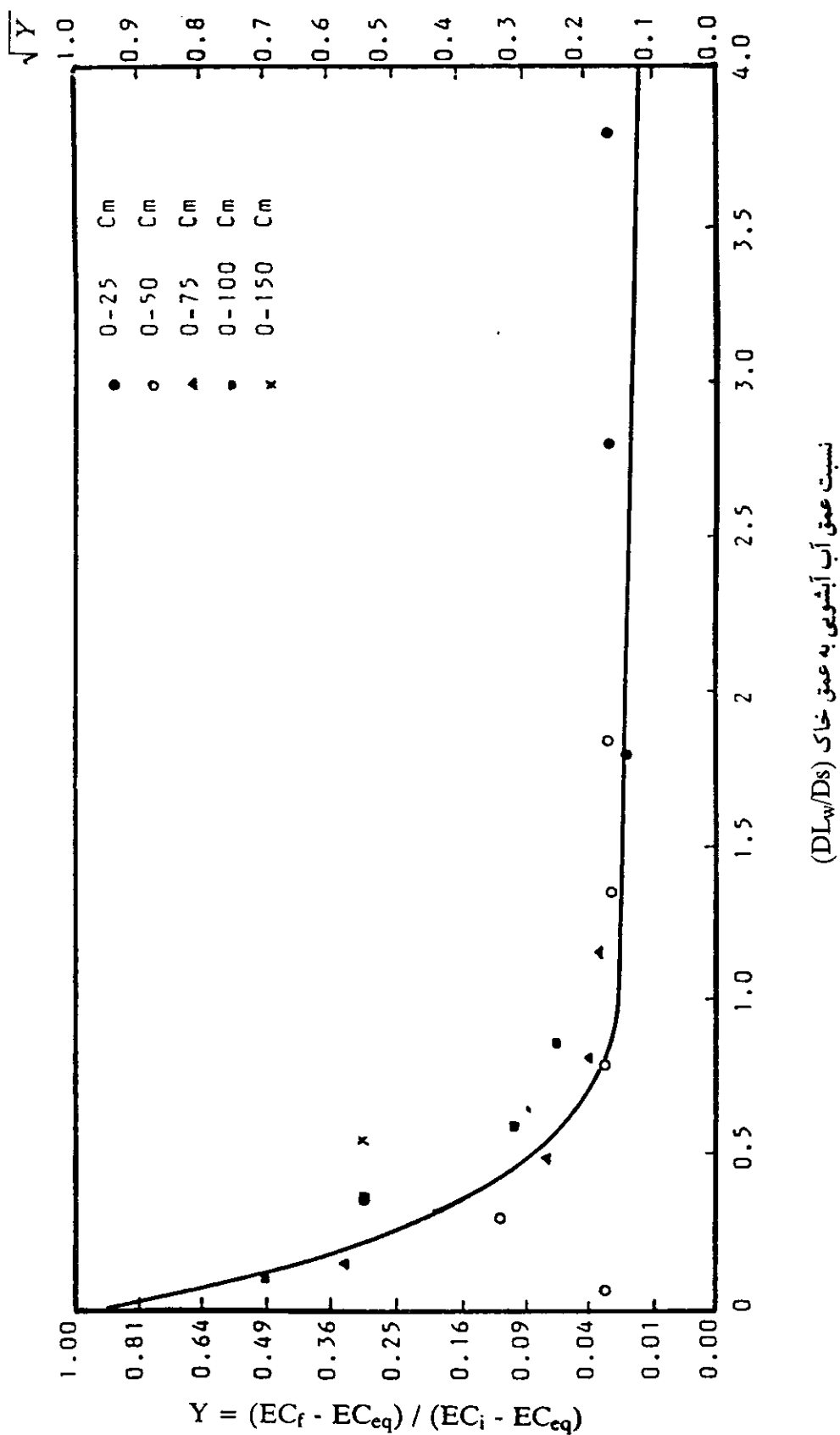
جدول ۱۰- ارقام مربوط به ترسیم منحنیهای شوری و سدیم زدایی خاکهای مورد آزمایش ($L_1 + S$)

ردیف	ضخامت لایه های خاک Ds (سانتیمتر)	عمق ناخالص آب آیشویی Dw (سانتیمتر)	عمق خالص آب آیشویی DLw (سانتیمتر)	نسبتهای مربوط		
				$\frac{DLw}{Ds}$	$\frac{ECf-ECeq}{ECi-ECeq}$	$\frac{ESPf-ESPeq}{ESPi-ESPeq}$
۱	۰ - ۲۵	۲۵	۱۹/۷۱	۰/۰۸۷	۰/۰۳۲	۰/۲۷۰
		۵۰	۴۴/۷۱	۱/۷۸۸	۰/۰۱۹	-
		۷۵	۶۹/۷۱	۲/۷۸۸	۰/۰۲۱	۰/۰۱۳
		۱۰۰	۹۴/۷۱	۳/۷۸۸	۰/۰۲۱	-
۲	۰ - ۵۰	۲۵	۱۵/۳۲	۰/۳۰۶	۰/۱۱۷	-
		۵۰	۴۰/۳۲	۰/۸۰۶	۰/۰۳۳	۰/۱۰۸
		۷۵	۶۵/۳۲	۱/۳۰۶	۰/۰۲۴	-
		۱۰۰	۹۰/۳۲	۱/۸۰۶	۰/۰۲۶	-
۳	۰ - ۷۵	۲۵	۱۱/۸۱	۰/۱۵۷	۰/۳۳۶	-
		۵۰	۳۶/۸۱	۰/۴۹۱	۰/۰۷۵	۰/۴۲۲
		۷۵	۶۱/۸۱	۰/۸۲۴	۰/۰۴۱	۰/۵۱۱
		۱۰۰	۸۶/۸۱	۱/۱۵۷	۰/۰۳۳	-
۴	۰ - ۱۰۰	۲۵	۱۰/۰۳	۰/۱۰۰	۰/۵۱۲	۱/۰۰
		۵۰	۳۵/۰۳	۰/۳۵۰	۰/۲۹۶	۰/۴۸۳
		۷۵	۶۰/۰۳	۰/۶۰۰	۰/۱۰۷	۰/۶۳۰
		۱۰۰	۸۵/۰۳	۰/۸۵۰	۰/۰۶۵	۰/۰۲۴
۵	۰ - ۱۵۰	۲۵	۶/۴۸	۰/۰۴۳	-	-
		۵۰	۳۱/۴۸	۰/۲۱۰	-	-
		۷۵	۵۶/۴۸	۰/۳۷۶	-	-
		۱۰۰	۸۱/۴۸	۰/۵۴۳	۰/۲۹۷	۰/۳۸۹

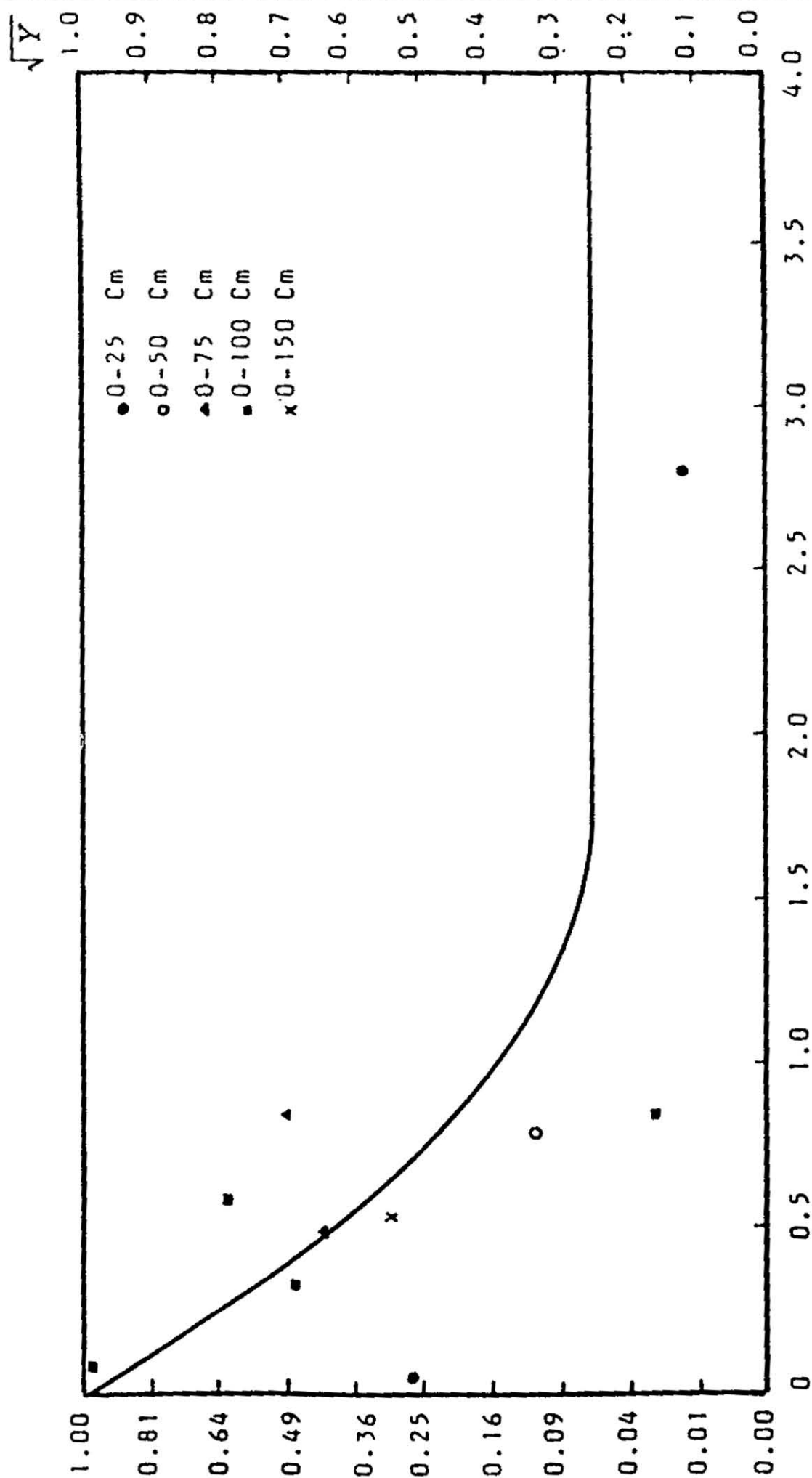
$$ECeq = ۱/۶۹ \text{ dS/m}$$

$$ESPeq = ۵/۱۱$$

شکل ۱۷- منحنی شوری زدایی خاکهای مورد آزمایش مثال شماره دو



شکل ۱۸- منحنی سدیوم‌زدایی خاکهای مورد آزمایش مثال شماره دو



نسبت عمق آب آیشویی به عمق خاک (DL_w/D_s)

موارد کاربرد عملی منحنیهای فوق‌الذکر در فصول قبل (مبحث شماره ۵-۵) به صورت مثال عددی ارائه شده است.

ت - بررسی امکانات کاربرد معادله تخمینی درصد سدیم تبادلی (ESP) خاکهای مورد آزمایش

در مورد تعیین میزان درصد سدیم تبادلی خاکها در این آزمایش و در دو روش محاسباتی به ترتیب از معادلات شماره (۶) و (۱۴) استفاده به عمل آمد. به طوری که قبلاً بدان اشاره شد در بعضی از حالات، عدم هماهنگی بین ارقام حاصل از کاربرد معادلات فوق مشاهده می‌شود. برپایه ارقام و اعداد حاصل از تجزیه‌های شیمیایی نمونه‌های خاک و برای قطعه مورد آزمایش با کاربرد اعداد نسبت جذب سدیم (SAR) و درصد سدیم تبادلی محاسبه شده (از طریق سدیم تبادلی، ظرفیت کاتیونهای تبادلی خاک) که در واقع ارقام واقعی (ESP) می‌باشند با استفاده از معادلات بیان شده در مثال قبل، تحلیل به عمل آمده و سعی در تدوین معادله تخمینی گردید که نتیجه آن در پیوست شماره شش آمده است.

اگرچه برای این که بتوان راجع به امتیاز رابطه به دست آمده نسبت به روابط فوق سخن گفت، لازم است آن را در مناطق مشابه در سطح وسیعتری به کار برد و نتایج حاصل از آن را بررسی کرد، اما به دلیل آن که در این روابط خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاکهای منطقه دخالت داشته و معمولاً در روابط تجربی منطقه‌ای در بررسیهای خاک و آب بهترین و صحیحترین نتیجه را می‌دهند، می‌توان آن را در مورد خاکهای مشابه منطقه مورد مطالعه در مسایل عملی تعمیم داد.

پیوست شماره دو

شرح اجمالی رده‌های خاک که احتمال وجود افق‌های شاخصهای شوری و سدیمی بودن در رده‌بندی آنها منظور شده است.

- رده خاکهای انتی سولز^۱، خاکهای معدنی و فاقد هر نوع افق شناسایی به جز افق سطحی اوکریک^۲ (افق رنگ پریده سطحی) و یا یک افق البیک^۳ می‌باشند. این خاکها در هر نوع شرایط آب و هوایی و یا هر نوع پوشش گیاهی ممکن است وجود داشته باشند. عدم تکامل نیمرخ خاک در این خاکها امکان دارد به دلیل جوان بودن و یا مقاوم بودن مواد مادری آنها در برابر هوا دیدگی باشد. البته ممکن است به دلیل استقرار در شیبهای تند و بر اثر فرسایش زیاد امکان انجام فرایندهای خاک سازی در خصوص آنها میسر نگردیده باشد.
- رده خاکهای اینسپتی سولز^۴، خاکهایی با یک یا چند افق مشخصه شناسایی، بافت ریزتر از شنی لومی، حاوی مقادیر نسبتاً زیاد تا زیادی رس که ظرفیت کاتیونهای تبادلی آنها بالنسبه زیاد است، می‌باشند، چنین خاکهای ممکن است در شرایط آب و هوایی کاملاً متفاوت (از قطبی تا استوایی) با پوشش گیاهی بسیار متنوع وجود داشته باشند. افقهای شناسایی این رده خاکها در ایران معمولاً کمبیک^۵ (افقی که نسبتاً سریع تشکیل گردیده)، کلسیک^۶ (افق تجمع آهک ثانویه)، پتروکلسیک^۷ (افق سخت و سیمانی شده آهکی)، ژپسیک^۸ (افق تجمع گچ ثانویه) و پتروژپسیک^۹ (افق سخت و سیمانی شده گچ) می‌باشد.
- رده خاکهای الفی سولز^{۱۰}، خاکهایی می‌باشند که در آنها به دلیل وقوع فرآیند انتقال و تجمع رسها در تحت الارض خاک افق آرژلیک^{۱۱} (افق تجمع رس) تشکیل می‌گردد. از ویژگیهای دیگر این رده خاکها، وجود افق سطحی اوکریک (افق رنگ پریده سطحی) یا امبریک^{۱۲} (افق تیره با واکنش اسیدی)، طبقه زیرین آرژلیک و بالا بودن میزان بازها و رطوبت موجود در خاک است. به طور کلی این خاکها در طبقه زیرین ممکن است دارای طبقه آرژلیک، کاندیک^{۱۳} (افق تجمع رسهای با CEC پایین و Low Activity Clay) و یا ناتریک^{۱۴} (افق تجمع رس و سدیم) باشند.
- رده خاکهای مولی سولز^{۱۵}، این رده از خاکها دارای افق سطحی مولیک^{۱۶} (افق تیره رنگ سطحی) و معمولاً به صورت علفزارهایی که در ایامی از سال مواجه با کمبود رطوبت هستند، وجود دارند. در حالانی نیز ممکن است به صورت باتلاقهای مناطق مرطوب یافت شوند. خاکهای مولی سولز به طور کلی دارای افقی سطحی مولیک بوده

1- Entisols	2- Ochric
3- Albic	4- Inceptisols
5- Cambic	6- Calcic
7- Petrocalcic	8- Gypsic
9- Petrogypsic	10- Alfisols
11- Argillic	12- Umbric
13- Kandic	14- Natric
15- Mollisols	16- Mollic

و طبقات زیرین آن تا عمق ۱/۸ و یا تا روی طبقات لیتیک^۱ (لایه سنگی) و یا پارالیتیک^۲ (طبقه شبه سنگی) باید دارای درصد اشباع بازی حداقل ۵۰ باشند.

- رده خاکهای آرییدی سولز^۳، خاکهایی هستند که در مدت طولانی از سال برای گیاهان مزوفیت^۴ با کمبود رطوبت مواجه می‌باشند. این رده خاکها در طبقات زیرین دارای یک یا چند افق شناسایی می‌باشند و طبقه سطحی آنها از نظر ماده آلی بسیار ضعیف است. این خاکها در اکثر ایامی از سال که درجه حرارت مناسب برای رشد گیاهان فراهم است، فاقد رطوبت کافی می‌باشند (رژیم رطوبتی آریدیک^۵). محدوده گستره این رده خاکها معمولاً در مناطق خشک می‌باشد و پوشش گیاهی آنها در صورت موجودیت، بسیار ضعیف و پراکنده است. سطوح وسیعی از این خاکها در صورت فراهم بودن آب، قابل کشاورزی هستند.

به‌طور کلی افق سطحی این رده خاکها اوکریک (افق رنگ پریده سطحی) و یا انتروپیک^۶ (افق متأثر از فعالیت انسان) و طبقات زیرین آنها ممکن است یک و یا چند افق از نوع آرژلیک (افق تجمع رس)، کمبیک (افقی که نسبتاً سریع تشکیل گردیده)، کلسیک (افق تجمع آهک)، پتروکلسیک (لایه تجمع آهک سخت شده)، ژپسیک (افق تجمع گچ)، پتروژپسیک (افق تجمع گچ سخت شده) دیوری پن^۷ (افق سیمانی شده با سیلیم ثانویه) که مرز فوقانی آنها در محدوده ۱۰۰ سانتیمتری از سطح خاک است و یا دارای افق سالیک (افق تجمع املاح محلولتر از گچ) بوده و یک یا چند لایه آن تا عمق ۱۰۰ سانتیمتری در اکثر سالها از آب اشباع می‌باشد.

1- Lithic

2- Paralithic

3- Aridisols

4- Mesophyte

5- Aridic

6- Anthropic

7- Duripan

درجه‌بندی شوری خاک^۱

توضیح :

۲- هرگاه شوری لایه ۵۰-۵ سانتیمتری نیمرخ خاک در حد S_f باشد. بدون توجه به درجه شوری اعماق ۵۰-۱۰۰ و ۱۵۰-۱۰۰ سانتیمتری، درجه بندی آن S_f خواهد بود.

۳- درجه بندی نهایی شوری خاک تا عمق ۱/۵ متری باید یا حروف و عدد بزرگ بر روی نقشه‌های مربوط درج گردد (S_4, S_3, S_2, S_1, S_0).

پیوست شماره چهار

تذکر نکاتی در زمینه آزمایشهای متداول در تجزیه‌های شیمیایی خاک

- نمونه برداری از خاک

انجام نمونه برداری باید از نقاط متنوع و معرف منطقه صورت گیرد و در این ارتباط تشریح خصوصیات افقهای مختلف نیمرخ خاک الزامی است

- مجموع املاح محلول

امروزه عقیده کلی متخصصان بر آن است که تنها روش استاندارد و قابل قبول برای بیان مجموع املاح محلول خاک، اندازه گیری میزان هدایت الکتریکی در عصاره گل اشباع خاک و تنظیم ارقام مربوط در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد است. این عامل به اختصار با (EC_e) نشان داده می شود و واحد جدید آن دسی زیمنس بر متر (dS/m) می باشد که در گذشته به صورت میلی موس بر سانتیمتر بیان می گردید.

مقدار هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع خاک به درجه حرارت محلول حساس می باشد، به طوری که مقدار آن به ازای افزایش هر یک واحد درجه حرارت بر حسب سانتیگراد ۲ درصد افزایش می یابد (در محدوده ۱۵-۳۵ درجه سانتیگراد). به این دلیل ارقام مربوط به هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع خاک را با توجه به درجه حرارت محلول به مقدار آن در ۲۵ درجه سانتیگراد با استفاده از رابطه زیر اصلاح می نمایند.

$$EC_{e, 25} = EC_{e, t} - 0.02 (t - 25) EC_{e, t}$$

که در آن $EC_{e, t}$ مقدار هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع خاک اندازه گیری شده در درجه حرارت t می باشد. ارقام هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (خاکهای با شوری متوسط) را هرگاه در عدد ده ضرب نمایند به طور تقریب غلظت مجموع کاتیونها و آنیونهای محلول بر حسب میلی اکوی والان در لیتر حاصل می گردد. اگرچه هدایت الکتریکی، کاتیونها و آنیونهای محلول را می توان در نسبتهای خاک به آب دیگری که امکان عصاره گیری را تسهیل می نماید اندازه گیری نمود، لیکن تبدیل ارقام حاصله به عصاره اشباع خاک مطلوبتر است.

- کاتیونها و آنیونهای محلول

تجزیه کاتیونهای محلول خاک نه تنها از نظر بیان دقیق نوع املاح محلول، بلکه به دلیل امکان ارزیابی خطرات ناشی از قلیائیت خاک با اهمیت تلقی می گردد. در این ارتباط کاتیونها و آنیونهای محلول که به طور معمول اندازه گیری می شوند شامل: کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، کلر، سولفات، کربنات و بیکربنات می باشند.

- بُر محلول

اندازه‌گیری میزان بر محلول خاک در مطالعات شوری و قلیائیت خاک به این دلیل با اهمیت است که حتی در مقادیر کم برای نباتات تولید مسمومیت می‌نماید.

- کاتیونهای تبادلی (قابل تعویض)

اندازه‌گیری مقدار و نسبت انواع کاتیونهای تبادلی (قابل تعویض) موجود در خاک از نظر آثاری که بر روی ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی خاک دارند، حایز اهمیت است. از طرفی جایگزینی کاتیونهای جذب سطحی شده به وسیله سایر کاتیونها امکان پذیر می‌باشد که از جمله معمولی ترین آنها می‌توان آمونیم (NH_4^+) و باریوم (Ba^{2+}) را نام برد. امر جایگزینی مرتبط با آن است که چه نوع کاتیونی به کار گرفته شود. به‌طور کلی هرگاه مقادیر سدیم تبادلی خاک زیاد باشد در آزمایشگاه برای امر جایگزینی آن ترجیحاً از آمونیم استفاده به عمل می‌آید.

به‌هر حال هرگاه کلسیم کاتیون غالب محسوب گردد (که در اکثر حالات در خاکهای آهکی، چنین است) جایگزینی آن به‌وسیله باریوم (Ba^{2+}) نتایج دقیقتری را عاید می‌نماید. به‌هر حال توصیه شده است که از شستشوی املاح محلول قبل از استخراج کاتیونهای تبادلی خودداری شود. زیرا امکان دارد بر اثر فاکتورهای ترقیق و آبکافت، تغییرات قابل ملاحظه‌ای در ویژگیهای نمونه خاک ایجاد گردد و بدین ترتیب اندازه‌گیری مجدد کاتیونهای محلول برای تصحیح و محاسبه مقادیر کاتیونهای تبادلی مورد نیاز خواهد بود.

- واکنش (pH)

pH عصاره اشباع خاک اندازه‌گیری و گزارش می‌گردد. در این خصوص می‌توان از عصاره اشباع خاکی که به‌منظور اندازه‌گیری هدایت الکتریکی آن در آزمایشگاه تهیه شده است با هم استفاده نمود.

- گچ

این ملح در اکثر خاکهای مناطق خشک از مقادیر جزئی و تا چند درصد یافت می‌شود. آگاهی از میزان گچ در خاکهای سدیمی به‌دلیل مشخص نمودن لزوم و یا عدم احتیاج به کاربرد مواد به‌ساز (اصلاح‌کننده خاک) با اهمیت تلقی می‌گردد. همچنین حصول اطمینان از وجود مقادیر قابل ملاحظه گچ در خاک امکان کاربرد آبهای آبیاری با سدیم زیاد را نیز فراهم می‌آورد.

-کربناتهای قلیایی خاکی (آهک)

این املاح حاصل از انحلال کلسیت^۱ دولومیت^۲ و بعضاً مگنیزیت^۳ می‌باشند که میزان تراکم آنها در خاک با مقدار بارندگی سالانه منطقه مرتبط است، به نحوی که در خاکهای مناطق خشک امکان دارد تراکم حجمی آنها به حدود ۵۰ درصد نیز برسد. وجود کربناتهای قلیایی خاکی که اندازه ذرات آنها برابر با سیلیت یا ذرات رس درشت می‌باشد، ممکن است بر روی بافت و ویژگیهای مربوط خاکها موثر باشد.

آهک در شرایطی نیز با تامین یون کلسیم، موارد جایگزینی آن را با سدیم تسهیل می‌نماید. وجود مقادیر زیاد کربنات کلسیم در خاک، باعث ترسیب آهن محلول و در نتیجه بروز حالت کلروز (علامت کمبود آهن در نبات) را فراهم می‌نماید. اگرچه گونه‌هایی از نباتات نیز وجود دارد که به این پدیده کمتر حساس می‌باشند.

1- Calcite

2- Dolomite

3- Magnesite

پیوست شماره پنج

الف

مساحت و درصد از مساحت کل سریهای خاک و فازهای مربوط در محدوده مطالعاتی

ردیف	نام یا شماره سری خاک		فازهای مربوط به سری خاک						جمع کل سری خاک		
									درصد از	مساحت	
									مساحت کل	(هکتار)	
۱	۱	مساحت	۱	۲	۳	۴	۵	۶			
		درصد									
۲	۲	مساحت									
		درصد									
۳	۳	مساحت									
		درصد									
جمع کل											۱۰۰

توضیح :

۱- ارقام متن جدول بر حسب هکتار و اعداد مربوط به درصدها در داخل پرانتز آورده شود.

۲- شماره‌های ردیف، سری و فازهای مربوط به سریهای خاک ممکن است از ارقام مندرج در متن جدول بیشتر و یا کمتر باشد.

پیوست شماره پنج

ب

وضعیت فازهای مربوط به هر سری خاک از نظر ویژگیهای بافت و نفوذپذیری

لایه‌های زیرین و تحت کلاسه‌های مربوط در محدوده مطالعاتی

ردیف	نام یا شماره سری خاک		فازهای مربوط به سری خاک						جمع کل سری خاک	
									درصد از	مساحت
									مساحت کل	(هکتار)
۱	۱	بافت و نفوذپذیری لایه‌های زیرین								
		تحت کلاس مربوط								
۲	۲	بافت و نفوذپذیری لایه‌های زیرین								
		تحت کلاس مربوط								
۳	۳									
جمع کل										۱۰۰

توضیح :

۱- ارقام متن جدول برحسب هکتار و اعداد مربوط به درصدها در داخل پرانتز آورده شود.

۲- شماره‌های ردیف، سری و فازهای مربوط به سریهای خاک، ممکن است از ارقام مندرج در متن جدول بیشتر و یا کمتر باشد.

پیوست شماره پنج

پ

توزیع مساحت سریهای متفاوت خاک در کلاسها و تحت کلاسهای مربوط در خاکهای محدوده مطالعاتی

ردیف	کلاسهای شوری و قلیائیت خاکها	نام یا شماره سری خاک					جمع کل سری خاک	
							درصد از	مساحت
		۱	۲	۳	۴	۵	(هکتار)	مساحت کل
۱								
۲								
۳								
۴								
۵								
۶								
جمع	مساحت - هکتار							
کل	درصد از مساحت کل							۱۰۰

توضیح :

۱- ارقام متن جدول بر حسب هکتار و اعداد مربوط به درصدها در داخل پرانتز آورده شود.

۲- شماره‌های ردیف، سری، کلاس و تحت کلاسهای مربوط خاکها، ممکن است از ارقام مندرج در متن جدول بیشتر و یا کمتر باشد.

پیوست شماره پنج

ت

توزیع کلاسهای شوری و قلیائیت خاک و اراضی در سریهای خاک و فازهای مربوط در محدوده مطالعاتی

ردیف	نام یا شماره سری خاک ۱	فازهای مربوط به سری خاک					جمع کل سری خاک	
		۲	۳	۴	۵	۶	مساحت	درصد از
							(هکتار)	مساحت کل
۱	۱							
۲	۲							
۳	۳							
۴	۴							
۵	۵							
جمع کل								۱۰۰

توضیح :

۱- ارقام متن جدول بر حسب هکتار و اعداد مربوط به درصدها در داخل پرانتز آورده شود.

۲- شماره ردیف، سری، کلاس و تحت کلاسهای مربوط خاکها، ممکن است از ارقام مندرج در متن جدول بیشتر و یا کمتر باشد.

پیوست شماره پنج

ث

مساحت و درصد کلاسه‌های متفاوت شوری و قلیائیت خاک و اراضی

در سریهای مختلف خاکهای محدوده مطالعاتی

ردیف	کلاس اراضی	تحت کلاس مربوط	نام یا شماره سریهای خاک					
			۱	۲	۳	۴	۵	۶
۱								
۲								
۳								
۴								
۵								
۶								
جمع	مساحت - (هکتار)							
کل	درصد از مساحت کل							

توضیح:

۱- ارقام متن جدول بر حسب هکتار و اعداد مربوط به درصدها در داخل پرانتز آورده شود.

۲- شماره‌های ردیف، سری و کلاسه‌های شوری و قلیائیت خاکها، ممکن است از ارقام مندرج در متن

جدول بیشتر و یا کمتر باشد.

پیوست شماره شش

معادلات مربوط به بررسی امکانات کاربرد معادله تخمینی درصد سدیم تبادلی خاکها

الف - مثال شماره یک

با استفاده از معادلات بیان شده در مبحث شماره ۳-۴ (روابط شماره ۹، ۱۰ و ۱۲) تحلیل به عمل آمد و سعی در تدوین معادله تخمین گردید که نتیجه آن به شرح زیر است:

$$ESR = 0.08235 + 0.011885 \cdot SAR$$

و ضریب همبستگی مربوط در سطح ۱ درصد معنی دار بوده است ($r = 0.657$) بدین ترتیب معادله تجربی زیر را برای شرایط نمونه های خاک مورد آزمایش می توان ارائه نمود.

$$ESP = \frac{100 (0.08235 + 0.011885 \cdot SAR)}{1 + (0.08235 + 0.011885 \cdot SAR)}$$

ارقام درصد سدیم تبادلی محاسبه شده از معادله بالا با ارقام درصد سدیم تبادلی واقعی و محاسبه گردیده از طریق کاربرد رابطه شماره (۶) و برآورد گردیده از رابطه شماره (۱۴) مقایسه گردید که بررسی نتایج نشان دهنده آن است که ارقام محاسبه شده از معادله تخمینی یاد شده (معادله جدید) با داشتن مجموع مربعات انحرافات کوچکتری به ارقام عملی و واقعی محاسبه گردیده از رابطه سدیم تبادلی - ظرفیت کاتیونهای تبادلی خاک نزدیکتر می باشد. بدین ترتیب ملاحظه می گردد که بین دو دسته ارقام درصد سدیم تبادلی (محاسبه شده از روشهای شماره ۱ و ۲) که مورد آزمایش قرار گرفته اند از نظر آماری اختلافانی با احتمال ۹۹ درصد وجود دارد. در حالی که در این ارتباط ارقام حاصل از کاربرد معادله تجربی ($SAR - ESP$) جدید از نظر آماری به ارقام حاصل از کاربرد معادله درصد سدیم تبادلی واقعی خاک (سدیم تبادلی - ظرفیت کاتیونهای تبادلی خاک) نزدیکتر می باشند.

ب - مثال شماره دو

با استفاده از معادلات بیان شده در مبحث شماره ۳-۴ (روابط شماره ۹، ۱۰ و ۱۲) تحلیل به عمل آمد و سعی در تدوین معادله تخمین گردید که نتیجه آن به شرح زیر است:

$$ESR = 0.118031 + 0.08179 \cdot SAR$$

و ضریب همبستگی مربوط در سطح ۱ درصد معنی دار بوده است ($r = 0.567$) بدین ترتیب معادله تخمینی (تجربی) زیر را برای شرایط نمونه های خاک مورد آزمایش می توان ارائه نمود.

$$ESP = \frac{100 (0.118031 + 0.08179 \cdot SAR)}{1 + (0.118031 + 0.08179 \cdot SAR)}$$

توضیح: کلیه موارد ارائه شده در قسمت الف - در توجیه محاسن معادله تجربی حاصله در این مورد نیز صادق است.

پیوست شماره هفت

بعضی تبدیلات سودمند در مطالعات اصلاح خاک و اراضی

- هدایت الکتریکی، یک زیمنس بر سانتیمتر (یک موس بر سانتیمتر) = ۱۰۰۰ میلی زیمنس بر سانتیمتر

= ۱۰۰۰ (میلی موس بر سانتیمتر)

- یک میلی زیمنس بر سانتیمتر (یک میلی موس بر سانتیمتر) = یک دسی زیمنس بر سانتیمتر

= ۱۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتیمتر

= ۱۰۰۰ میکروموس بر سانتیمتر

تبدیل هدایت الکتریکی به میلی مول (+) در لیتر

- EC بر حسب دسی زیمنس بر متر $EC \times 10 =$ لیتر / (+) میلی مول

برای آب آبیاری و عصاره اشباع خاک در محدوده ۰/۱ - ۵/۰ دسی زیمنس بر متر (dS/m)

- هدایت الکتریکی به میلی گرم بر لیتر $EC \times 10^3 \times 0.64 =$ میلی گرم بر لیتر

- EC بر حسب دسی زیمنس (dS/m) $EC \times 640 =$ میلی گرم بر لیتر

برای آبها و عصاره های اشباع که دارای هدایت الکتریکی بیش از ۵ دسی زیمنس بر متر می باشند:

(تجربه آزمایشگاهی) میلی مول در لیتر به میلی گرم در لیتر

میلی مول بر لیتر یون را در وزن مولار آن ضرب نموده و جمع حاصل را به دست آورید.

$$\% \text{ املاح} = EC \times SP \times 0.64$$

که در آن :

EC بر حسب دسی زیمنس بر متر و SP (درصد اشباع) بر حسب اعشار $(\frac{SP}{100})$ به کار رود.

(۰/۶۴ × درصد اشباع) : املاح % = هدایت الکتریکی بر حسب دسی زیمنس بر متر

- میلی اکی والان بر لیتر (meq/lit) = (املاح بر حسب میلی گرم بر لیتر) : (وزن اکی والان)

- اکی والان بر میلیون (eq/million) = (درصد املاح بر حسب قسمت در میلیون) : (وزن اکی والان)

بنابراین،

- میلی گرم بر لیتر = قسمت در میلیون (p.p.m)، در نتیجه میلی اکی والان بر لیتر = اکی والان در میلیون.

منابع و مآخذ

- ۱- اکرم، مجتبی، (۱۳۶۳) راهنمای آزمایشات زهکشی، دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران.
- ۲- بای‌پوردی، محمد، (۱۳۷۳) زهکشی و احیاء اراضی کشاورزی، مجموعه مقالات هفتمین سمینار کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.
- ۳- پذیرا، ابراهیم، (۱۳۶۵) اصول اصلاح فیزیکی - شیمیایی خاکهای شور و قلیایی، جزوه درسی متمم درس فیزیک خاک تکمیلی، دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران.
- ۴- حیدری، نادر، پذیرا، ابراهیم و میراب زاده، مهدی، (۱۳۷۳) ارائه و کاربرد مدلها و روابط نظری آبشویی املاح و توازن نمک، در ارتباط با اصلاح و بهسازی خاکهای شور و سدیمی، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی شماره ۱۶.
- ۵- علیزاده، امین، (۱۳۶۳) کیفیت آب در آبیاری، موسسه چاپ و انتشارات آستان قدس رضوی - مشهد.
- ۶- گزارش مطالعات اصلاح و بهسازی خاک و اراضی، با تاکید بر موارد اصلاح فیزیکی - شیمیایی خاکهای شور و قلیایی دشت هندیجان، (۱۳۶۹) مهندسین مشاور کارآب - تهران.
- ۷- مجموعه مقالات اولین کنگره برنامه ریزی و سیاست گذاری امور زیربنایی (آب و خاک) در بخش کشاورزی (۱۳۷۴)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، وزارت کشاورزی.
- ۸- محمودی، شهلا، و حکیمیان، مسعود، (۱۳۷۴) مبانی خاکشناسی، شماره ۲۲۶۷ دانشگاه تهران.
- ۹- وزیری، ژاله، (۱۳۷۴) ارزیابی مدل‌های شوری زدایی خاک با آزمایش مزرعه‌ای، پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان.
- ۱۰- همایی، مهدی، (۱۳۷۰) تأثیر جریانهای اشباع و غیراشباع در آبشویی املاح، پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته خاکشناسی، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس.

- 11- Abrol, I.P, Yadav, J.S.P and F.I, Massaud (1988). Salt - Affected Soils and their Management, FAO. Soils Buletin, No.39.FAO, Rome.
- 12- Ayers, R.S and, Westcat, D.W: (1982) Water Quality for Agriculture, Irrigation and Drainage Paper No. 29, Rev. 1. FAO, Rome.
- 13- Bresler, E. McNeal, B. I. and Carter, D.L.; (1982) Saline and Sodic Soils, Principle, Dynamics, Modeling, Springer - Verlage, Berlin.
- 14- Bolt, G.H. and Bruggenwest, M.G.M. (Editors): (1978) Soils Chemisty, A Basic Element, Development in Soil Science, Elsevier & Scientific Publishing Co.
- 15- Dewan, M.L and Famuri, J.: (1964) The Soils of Iran, FAO, Rome.
- 16- Dregne, H.E.; (1979) Soils of Arid Regions, Development in Soil Science, 5A, Elsevier Scientific Pub. Co.
- 17- Kovda, V.A (Editor): (1973) Irrigation, Drainage and Salinity, An International Source Book. FAO, UNESCO.
- 18- Mahler, P.J.: (1979) Manual of Land Classification for Irrigation, No. 205, Soil Institute of Iran, Rev. 3.
- 19- Pazira, E, and Sadeghzadeh ,K., (1988), Soil Desalinization and Land Reclamation in Iran, A Case study; Khuzistan province, International Symposium on New Technologies to Combat Desertification, Tehran, Iran.
- 20- Pazira, E. and Kawachi, T.: (1981) Studies on Appropirate Depth of Leaching Water, Journal of Integrated Agricultural Water Use and Freshening Reservoirs, Kyoto University, Japan.
- 21- Ritzema. H.P (Editor in Chief): (1994) Drainage Principles and Application, ILRI Publication No. 16, 2nd ed.
- 22- Richards, L.A (Editor) : (1954) Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaline Soils, U.S. Dept of Agriculture. Hankbook No. 60.
- 23- Siadat, H, Byboroli, M, and M.j, Malakauti; (1997) A Country Report, International Symposium on "Sustainable Management of Salt Affected Soils in the Arid Ecosystem", Cairo, Egypt.
- 24- Szabolcs, Istvan (1989) : Salt - Affected Soils, Boca Raton, Florida, CRC Press.
- 25- Soil Survey Investigation for Irrigation, (1979) FAO Soils Buletin, No. 42. FAO, Rome.
- 26- Sepaskhah, A.R, and Gharaat M.R. (1977), Reclamation of Saline - Sodic Soils in Khuzistan, Iranian, jour. Agric. Res, Vol, 5.No.1.

In the Name of God
Islamic Republic of Iran
Ministry of Energy
Iran Water Resources Management CO.
Deputy of Research
Office of Standard and Technical Criteria

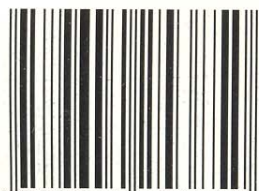
Manual for Leaching Experiments for Saline and Sodic Soils in Iran

Publication No. 255

عنوان این نشریه دستورالعمل آزمایش‌های آبشویی خاکهای شور و سدیمی در ایران است. هدف از تهیه این دستورالعمل، ارائه رهنمودهای لازم برای شناخت، بهسازی و بهره‌برداری از خاکهای متأثر از مشکلات شوری و سدیمی بودن می‌باشد تا با استفاده از آن بتوان نسبت به انجام آزمایش‌های شوری زدایی، سدیم زدایی و تهیه منحنی‌های آبشویی املاح از نیمرخ خاکهای مبتلا به و سرانجام تحلیل نتایج به دست آمده از این آزمونها اقدام نمود.

معاونت امور پشتیبانی
مرکز مدارک علمی و انتشارات

ISBN 964-425-385-X



9 789644 253850