چهارمین کارگاه فنی زهکشی
۱۸ آبان ماه ۱۳۸۵

شوری‌زدایی تدریجی خاک بوسیله نفوذ عمقی آب آبیاری

ابراهیم پذیرا[۱]

چکیده:

عملیات آبشویی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک‌های «مسئله‌دار» 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 رسد. در شرایطی که برای آبشوئی مقدماتی به مقادیر قابل توجهی آب آبشویی نیاز باشد موجبات تضعیف قدرت باروری خاک به دلیل از دست رفتن عناصر غذایی و با اهمیتی از قبیل ازت، پتاسیم و غیره فراهم می‌آید. به جهت تقویت و ترمیم درجه حاصلخیزی خاک‌ها و بهبود خواص فیزیکی آنها که پس از یک دوره استغراق از طریق پخش و نگهداری آب به روی سطح اراضی، ویژه‌گی‌های فیزیکی خاک‌ها احیاناً نامطلوب خواهد شد. بعضی اقدامات به‌زراعی توصیه گردیده است. این قبیل برنامه‌ها نه تنها از نظر بهبود خواص فیزیکی و افزایش قدرت باروری خاک‌ها بلکه به عنوان اقداماتی 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 آبشویی خاک‌ها مؤثر است که از آن جمله می‌توان به ترتیب اهمیت موارد زیر را برشمرد:

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

۱- عضو گروه کار زهکشی، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، عضو هیأت علمی و مدیر گروه، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی- تهران.

انتخاب روش مناسب برای اصلاح عملی خاک‌ها با توجه به موارد بیان شده فوق تشخیص داده خواهد شد. در این راستا کاربرد ارقام و اعداد شوری (و سدیم) زدایی خاک‌ها که از طریق آزمون‌های مزرعه‌ای حاصل آمده است (منحنی‌های شوری و سدیم زدایی خاک‌ها) و بدلایل ضرورت‌های کاربردی، تخصصی و تکمیلی نسبت به تعریف ریاضی داده‌ها از طریق برازش بر نوعی رابطه ریاضی اقدام گردیده و می‌تواند مورد استفاده برنامه‌ریزان قرار گیرد. بدلیل اینکه گزینه «اصلاح و بهسازی تدریجی» خاک‌های مسئله‌دار از طریق عملیات کشت و کار (و آبیاری) کمتر در کشور مورد امعان نظر بوده است، بدین دلیل در این بررسی به این «گزینه» پرداخته شده است.

واژه‌های کلیدی: اصلاح تدریجی، خاک‌های شور و سدیمی، مبانی شوری‌زدایی، آزمون مدل تجربی

• مقدمه

تراکم و انباشت نمک‌ها در نیمرخ خاک بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها از جمله، فشار اسمزی، نفوذپذیری، هدایت هیدرولیکی آن چنان اثری باقی می‌گذارد که در نتیجه آن ممکن است رشد و نمو بیشتر گیاهان زراعی و باغی دچار اختلال جدی و یا به طور کامل متوقف شود.

پیامد انحلال‌پذیری فوق‌العاده زیاد نمک‌های سدیم (Na) و رسوب کربنات‌کلسیم ($CaCO_3$) در واکنش (pH) زیاد که معمولاً و به طور طبیعی اتفاق می‌افتد، موجب افزایش تراکم نمک‌ها یا شوری (فرایند شور شدن[1]) و افزایش واکنش (pH) محلول خاک (فرایند قلیایی شدن) می‌شود که در نتیجه آن، سدیمی شدن خاک (فرایند قلیا یا سدیمی‌شدن[2]) تسریع می‌شود.

بنابراین در برنامه‌های کشاورزی زمین‌های مورد آبیاری، باید به منظور بازده اقتصادی فرآورده‌های زراعی و باغی مقدار شوری و سدیمی بودن خاک را تا حد مطلوب کاهش داد. از نظر عملی و تجربی می‌توان آبشویی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک‌های شور و سدیمی را از راه استفاده از آب آبشویی[3] با روش‌های غرقاب دائم یا متناوب و یا با آبیاری بارانی انجام داد، که هر روش محدودیت و مزیت‌های خاص خود را دارد.

به طورکلی، اصلاح خاک‌های شور کار پیچیده‌ای به شمار نمی‌رود، زیرا با به کارگیری مقدار مورد نیاز آب آبشویی با کیفیت مناسب، می‌توان نمک‌های اضافی را از نیمرخ خاک‌ها آبشویی کرد، مگر اینکه ویژگی‌های زهکشی داخلی خاک به هر دلیلی نامناسب و یا بافت خاک بسیار سنگین باشد، به هرحال در مورد نفوذ و تحرک آب در خاک‌های شور در شرایط متعارف مشکل خاصی وجود ندارد.

با توجه به موارد گفته شده، می‌توان نتیجه گرفت که پیش نیاز موفقیت برنامه‌های آبشویی و اصلاحی خاک‌های شور، به شرایط مطلوب زهکشی خاک‌ها بستگی دارد، که اگر این مورد به طور طبیعی فراهم نباشد، باید از راه

1- Salinization
2- Alkalization (Sodification)
3- Leaching Water

مصنوعی آن را ایجاد کرد. انجام این امر با اقدامهایی مانند نصب زهکش‌های زیرزمینی، احداث کانال‌های باز زهکشی و یا در شرایطی، پمپاژ آب زیرزمینی آبخوانهای سطحی، امکان‌پذیر است. چون منظور از به کارگیری آب مورد نیاز برنامه‌های اصلاحی خاک، تخلیه (آبشویی) و دفع ترکیب‌های معدنی (نمک‌ها) غیر ضروری از نیمرخ خاک می‌باشد، بنابراین لازم است تراوش‌های عمقی یا زه‌آب‌های حاصل، با روش مناسبی گردآوری و به خارج از محدودهٔ مزرعه تخلیه و دفع شود زیرا در غیر این‌صورت موجب خیز سطح ایستابی (به طور عمده شور) شده و بر شدت مسئله می‌افزاید.

به هرحال، در صورت وجود شرایط زهکشی مناسب و مطلوب، دو پرسش کلیدی قبل از اقدام به شروع برنامه‌های اصلاحی خاک‌های شور مطرح خواهد بود.

- چه میزان آب برای کاهش سطح شوری مورد نظر در نیمرخ خاک و تا عمق مشخص لازم است، و به کارگیری و نفوذ این میزان آب به سطح و درون نیمرخ خاک، چه مدت طول خواهد کشید. با توجه به اینکه در گستره وسیعی از زمین‌ها و دشت‌های مورد آبیاری و یا مستعد گسترش شبکه‌های آبیاری و زهکشی در کشور مشکل سدیمی بودن، نیز مربوط به زمینهای شور است، بنابراین سؤال دیگری نیز در این مورد، قابل بررسی است.
- آیا همزمان با فرایند شوری‌زدایی، پدیده سدیم زدایی[1] خاک‌ها نیز مطرح است و یا اینکه شوری‌زدایی خاک‌ها موجب تشدید پدیده سدیمی شدن خاک‌ها می‌شود که در آن صورت باید اقدام‌های ویژه دیگری اعمال شود.

با توجه به منابع کلسیم موجود در بیشتر خاک‌های شور و سدیمی زمین‌های مورد آبیاری و دشت‌های رسوبی (حاصل از رسوب‌های زمین‌های مرتفع و یا رودخانه‌ای) قابل کشت و آبیاری کشور، هنوز مورد شوری‌زدایی و گرایش به سدیمی شدن خاک‌ها گزارش نشده است و محتمل نیز بنظر نمی‌رسد.

می‌توان با تقریب و دقت قابل قبولی با استفاده از فناوری مدل‌های شبیه‌سازی[2] (همانندسازی) رایانه‌ای که به منظور مطالعه حرکت نمک‌ها در آب خاک (محلول خاک) تدوین یافته‌اند، به پاسخ این دو پرسش (مقدار آب مورد نیاز و دوره زمانی لازم) دست یافت. استفاده از این روش در مورد بررسی‌های آزمایشگاهی و در شرایط کنترل ستونهای خاک، نتایج مطلوبی به همراه داشته است.

بعضی پژوهشگران اعلام نموده‌اند که برای شرایط حاکم در مزرعه، استفاده از نتایج حاصل از مدل‌های شبیه‌سازی رایانه‌ای به طور مستقیم امکان‌پذیر نیست. زیرا طبیعت پارامترهای خاک در مزرعه تغییرات مکانی چشمگیری دارند و این امر باعث کاهش قابلیت اطمینان در ورودی‌های مورد نیاز و همچنین موجب محدودیت در ارزشمندی مدل می‌شود.

1- Desodification
2- Simulation Models

بدین ترتیب، استفاده از مدل‌های تجربی[1] به عنوان برآوردهای تقریبی و مقدماتی می‌تواند در دستیابی به اطلاعات مورد نیاز برنامه‌های اصلاحی خاک و زمین، به ویژه در شرایطی که در منطقه موردنظر بیشتر خاک‌ها از نوع همگن و یک لایه باشند، بسیار سودمند باشد.

• مدل‌های تجربی آبشویی نمک‌های محلول

مدل‌های تجربی، حاصل داده‌های مشاهده‌ای و اندازه‌گیری تجربی (آزمایشگاهی و یا میدانی) می‌باشند که بر نوعی رابطه ریاضی برازش داده می‌شوند. بنابراین، در اشتقاق آنها هیچ‌گونه پیش فرض فیزیکی و ریاضی اعمال نشده است. هرچند مدل‌های تجربی قلمرو محدودی دارند و در محل یا مورد مشکل خاصی، از آنها استفاده می‌شود، لیکن در ارتباط با اهداف این بررسی، مزیت‌هایی را به شرح زیر دارا می‌باشند:

الف) به کارگیری این مدل‌ها برای برآوردهای مقدماتی و تقریبی می‌تواند در دستیابی به اطلاعات مورد نیاز برنامه‌های اصلاح خاک و زمینها در شرایطی بسیار سودمند باشد.

ب) این نوع مدل‌ها می‌توانند بخش مهمی از یک مدل پیچیده عددی باشند.

پ) هرچند این روابط تجربی در مقایسه با نتایج مطالعات پایه حرکت همزمان آب و نمک محدودیت‌هایی دارد لیکن از نظر کاربردهای عملی در برنامه‌های اجرایی اصلاح خاک و زمینها نسبت به نتایج حاصل از مدل‌های نظری برتری دارند.

ت) و سرانجام سهولت‌های محاسباتی و کاربردی این مدل‌ها از نظر صرف زمان، هزینه و عدم نیاز به تخصص ویژه‌ای، قابل ملاحظه است.

در طرح‌های مطالعاتی، پیشنهاد می‌شود که بررسی امکان اصلاح فیزیکو- شیمیایی خاک‌های شور و یا شور و سدیمی، تعیین میزان آب لازم برای آبشویی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک‌های شور، از طریق آزمونهای مزرعه‌ای انجام گیرد. نتایج حاصل از اجرای آزمایش‌ها، این امکان را فراهم می‌آورد تا بتوان نسبت به تهیه و ارائه منحنی‌های آبشویی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک‌ها (منحنی‌های شوری و یا سدیم‌زدایی) اقدام کرد و با استفاده از آن، میزان آب لازم برای تعدیل میزان شوری و سدیمی بودن خاک‌ها را تا حد مطلوب تعیین نمود.

شایان ذکر است که استفاده از روابط (مدل‌های) تجربی و منحنی‌های آبشویی یا شوری‌زدایی (و یا سدیم‌زدایی) حاصل در محدوده نوع خاک، میزان شوری و یا درصد سدیم تبادلی اولیه نیمرخ خاک محل اجرای آزمون، می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد و با استفاده از آنها می‌توان عمق آب مورد نیاز را برای کاهش عملی میزان شوری و یا درصد سدیم تبادلی خاک و برای عمق معینی از لایه خاک برآورد کرد. مقادیر به‌دست آمده و یا برآوردشده (محاسبه‌شده) نیاز خالص آب آبشویی نمک‌ها است و به منظور برآورد کل میزان آب کاربردی لازم برای آبشویی نمک‌های خاک، باید به مقادیر تبخیر (از سطح آب و

1- Empirical Models

خاک) و میزان بارندگی نیز توجه کرد و این عوامل فراگیر را در محاسبات برنامه‌ریزی آبشویی و اصلاح خاک و زمین‌ها در نظر گرفت.

• مبانی نظری شوری‌زدائی نمک‌های محلول

تجربیات موجود نشان می‌دهد که در بیشتر شرایط آبشوئی نمکهای از نیمرخ خاک‌ها عمل ساده «جایگزینی آب حاصل از نفوذ عمقی با عصاره اشباع محلول خاک» نمی‌باشد. بلکه مربوط به فرایند دو پدیده توأمان پخشیدگی[1] (حرکت گرمایشی) و انتشار[2] (پراکندگی) نمک‌های محلول در نیمرخ خاک می‌باشد که اصطلاحاً به فرایند جابجائی اختلاط پذیر[3] موسوم می‌باشد. در نتیجه این فرایند آبی که به طور عمقی در خاک نفوذ می‌کند با رطوبت موجود در نیمرخ خاک اختلاط می‌یابد و سپس با ادامه نفوذ، نمک‌های محلول را نیز به اعماق خاک منتقل می‌کند. هر چه عمق آب مورد نیاز برای آبشوئی کامل نمک‌ها کمتر باشد، بازده آبشوئی بیشتر خواهد بود. بازده آبشوئی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک تابع عواملی از جمله: میزان رطوبت خاک، مقدار آب آبشوئی، اندازه و آرایش خلل و فرج خاک، روش آبشوئی و سرانجام پراکنش عمودی و تراکم نمک‌ها در نیمرخ خاک می‌باشد.

در خاک‌های شور- سدیمی و سدیمی معمولاً فرایند تبادل یونی[4] در اثنای آبشوئی نمک‌ها به وقوع می‌پیوندد که طی آن تعادل موجود بین یون‌های جذب شده در سطح ذرات خاک و یون‌های موجود در محلول خاک ناپایدار گردیده و در نتیجه آن تبادل یونی به انجام می‌رسد. فرایند اصلاح خاک‌های سدیمی، مستلزم جایگزین شدن یونهای کلسیم و یا منیزیم با یون‌های سدیم جذب سطحی شـــده بر سطح ذرات رس است. لازمـه جایگزینی کلسیم (Ca) و یا منیزیم (Mg) با ســـدیم تبادلی ($Ex.Na^{+}$) آن است که مقادیر متناسبی یون کلسیم و یا منیزیم در محلول خاک موجود باشد به این ترتیب اصلی‌ترین نقش آبشوئی و اصلاح اراضی در خاک‌های شور و سدیمی، خارج کردن یون سدیم جایگزین شده (که به شکل نمک‌های با حلالیت زیاد در محلول خاک باقی می‌ماند)، خواهد بود.

بعضی پژوهشگران فرضیات ساده شده‌ای را برای دستیابی به معادله آبشوئی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک‌ها اعمال و فرایند آبشوئی (شوری‌زدائی) نمک‌ها از نیمرخ خاک‌ها را به شرح زیر ارائه نمودند.

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

که در آن: D_S ضخامت لایه خاک، dC_{sw} تغییرات میزان نمک‌ها در آب خاک در ارتباط با تغییرات در عمق آب زهکشی (میزان) در عمق معینی از خاک (dD_{dw})، θ_V میزان رطوبت حجمی خاک، C_{iw} و C_{dw} به

1- Diffusion
2- Dispersion
3- Miscible Displacement
4- Ionic Exchange

ترتیب غلظت نمک‌های محلول در آب آبیاری و آب زهکشی (زه‌آب) و D_{dw} میزان آب نفوذ یافته (تراوشات عمقی) می‌باشد. با توجه به معادله کلی بیان شده فرضیات به کار رفته و ضروری به شرح زیر بوده است.

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

[۲]- این شرایط برقرار باشد:

$$Cdw = f \,.\, Csw \quad , f \le 1$$

که در آن: f ضریب بازده یا راندمان آبشوئی[2] نامیده می‌شود. غلظت نمک‌ها در آب زهکشی از عمق معینی در خاک، برابر و یا کمتر از متوسط غلظت نمک‌های آب خاک قبل از آبشوئی می‌باشد.

[۳]- عمق آب زهکشی (تراوشات عمقی) متناسب با عمق آب کاربردی (آبشوئی) است به طوری که می‌توان رابطه زیر را ارائه نمود.

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

که در آن: K ثابت تناسب می‌باشد. با جایگزینی معادله‌های ارائه شده در بندهای دوم و سوم در معادله (۱) نتیجه زیر حاصل می‌شود.

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

که آن را به صورت زیر نیز می‌توان نوشت:

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

و یا

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

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

1- Field Capacity (FC)
2- Leaching Efficiency Coefficient (f)

$$-\frac{1}{D_s}\int_0^D dD_{dw} = -\frac{\theta_v}{f}\int_{C_{swo}}^{C_{sw}} \frac{dC_{sw}}{C_{sw}-\frac{K.C_{iw}}{f}} \quad (۵)$$

و یا

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

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

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

در معادله (۶) مقادیر غلظت نمکهای محلول (C) بر حسب میلی اکی والنت در لیتر و یا میلی گرم در لیتر بوده است که این مقادیر در معادله (۷) به صورت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (EC) بر حسب دسی زیمنس بر متر (dS/m) تغییر یافته‌اند.

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

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

و یا

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

در معادله‌های (۸) و (۹) علائم به کار رفته دارای ابعاد و معانی زیر است:

EC_i و EC_f به ترتیب هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک، قبل و پس از عملیات آبشوئی (کاربرد و نفوذ عمق مشخصی آب آبشوئی یا D_{lw}) بر حسب دسی زیمنس بر متر (dS/m)، EC_{eq}، هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک که به حال تعادل شیمیائی با آب آبیاری (آبشوئی) در می‌آید، برحسب دسی‌زیمنس‌برمتر (dS/m) و آن در واقع کمترین میزان شوری (هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک) می‌باشد که در لایه سطحی

(۰-۵ سانتی‌متری) نیمرخ خاک با استفاده از آب آبیاری یا آبشوئی با کیفیت مشخص و موجود حاصل می‌گردد.

f ، ضریب بازده یا راندمان آبشوئی، بدون بعد

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

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

θ_V ، رطوبت حجمی خاک، سانتی‌مترمکعب بر سانتی‌مترمکعب

D_{lw}/D_s ، نسبت عمق آب آبشوئی به واحد عمق خاک، بدون بُعد

با کاربرد روابط بیان شده می‌توان عمق خالص آب آبشوئی (D_{lw}) و ضریب راندمان یا بازده آبشوئی (f) را به شرح زیر محاسبه نمود:

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

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

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

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

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

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

مقدار عددی این ضریب منعکس کننده راندمان کاربرد آب آبشوئی نمک‌های محلول خاک است، که طی فرایند آبشوئی می‌تواند جایگزین آب خاک گردد.

• تعیین آب مورد نیاز آبشوئی نمک‌های محلول

عملیات اصلاحی خاک‌ها مشتمل بر آبشوئی نمک‌های محلول و سدیم تبادلی از محدوده توسعه ریشه گیاه می‌باشد. اگر چه در عمل برای حصول این نتیجه اکثراً مقادیر قابل ملاحظه‌ای آب به طور نسبی بدین منظور و به عنوان آب آبشوئی به کار می‌رود و یا ممکن است در عمل مورد نیاز باشد لیکن در شرایطی که وضعیت زهکشی طبیعی (داخلی) خاک نامناسب باشد، کاربرد این میزان آب شرایط را نامطلوب‌تر می‌کند.

اصلاح خاک‌های متأثر از موارد شوری و سدیمی بودن حتی تا زمان حاضر هنوز موارد بررسی‌های مزرعه‌ای را ضروری می‌نماید. هر چند به طور غیر دقیق و تقریبی بیان می‌شود که برای آبشوئی نمک‌های محلول لایه خاکی به ضخامت (D_s) همان عمق یا ارتفاع معادل آب آبشوئی برای نیاز اصلاحی خاک‌های بسیار شور مورد نیاز است.

در این زیر بخش اهتمام به عمل آمده تا به منظور احتراز از پیچیدگی مطلب، تفاوت بین کنترل شوری نمک‌ها در نیمرخ خاک از طریق بیلان نمک یا نیاز آبشوئی[1] (LR) و تخلیه و دفع نمک‌های متراکم در خاک‌های شور و سدیمی که به نیاز اصلاحی[2] (RR) معروف است مطالبی بیان گردد بدین ترتیب که نیاز اصلاحی اراضی، عبارت از مقدار (میزان) آبی است که می‌بایستی از نیمرخ خاک (محدوده توسعه رشد ریشه گیاه) عبور نموده و نمک‌های محلول را در نیمرخ خاک به میزان و غلظت ویژه‌ای برساند که برای کشت و کار گیاهان مورد نظر قابل تحمل باشد بنابراین نیاز اصلاحی به طور معمول و مرسوم مرتبط با

1- Leaching Requirement
2- Reclamation Requirement

خاک‌های بدون پوشش زارعی می‌باشد که در نظر است این قبیل اراضی برای اهداف بهره‌برداری‌های کشاورزی آماده نمود.

• نیاز آبشوئی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک‌ها

پژوهشگران زیادی سعی در ارایه رابطه‌ای کمی برای بیان میزان آب لازم جهت آبشوئی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک‌ها (نیاز آبشوئی) نموده‌اند. کارشناسان آزمایشگاه شوری کشور ایالات متحده[1] در سال (۱۹۵۴) رابطه زیر را ارائه دادند.

$$LR = \frac{D_{dw}}{D_{iw}} = \frac{EC_{iw}}{EC_{dw}} \qquad (۱۲)$$

که در آن: D_{dw} ، عمق آب زهکشی D_{iw} ، عمق معادل آب آبیاری، EC_{iw} و EC_{dw} به ترتیب نمایانگر هدایت الکتریکی آب آبیاری و آب زهکشی (زه‌آب) می‌باشند. به دلیل مشکل بودن برآورد مقدار هدایت الکتریکی آب زهکشی (EC_{dw}) و برای اعمال این فرض که حداکثر غلظت محلول خاک در منطقه زیر محدوده توسعه ریشه گیاه اتفاق می‌افتد، پیشنهاد گردید که مقادیر شوری عصاره اشباع خاک به عنوان برآوردی از میزان هدایت الکتریکی آب زهکشی (EC_{dw}) منظور گردد. چنانچه از رواناب سطحی، صرف نظر شود، عمق آب آبیاری (D_{iw}) برابر مجموع عمق آب مصرفی گیاه (D_{cw}) و آب زهکشی (D_{dw}) می‌باشد بنابراین:

$$D_{iw} = D_{cw} + D_{dw} \qquad (۱۳)$$

$$D_{iw} = \frac{D_{cw}}{(1 - LR)} = \left(\frac{EC_{dw}}{EC_{dw} - EC_{iw}}\right).D_{cw} \qquad (۱۴)$$

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

$$LR = \frac{EC_{iw}}{5(EC_e) - EC_{iw}} \qquad (۱۵)$$

که در آن، LR حداقل نیاز آبشوئی لازم برای تنظیم نمک‌ها در محدوده شوری (ECe) قابل تحمل گیاه در روش‌های مرسوم آبیاری ثقلی یا سطحی، EC_{iw} شوری آب آبیاری برحسب دسی‌زیمنس بر متر (dS /m)

1- USSL

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

بدین ترتیب کل عمق آب سالیانه مورد نیاز که بایستی نیاز آبی و نیاز آبشوئی را جبران نماید از معادله زیر قابل محاسبه است:

$$AW = \frac{ET}{1 - LR} \qquad (۱۶)$$

که در آن، AW عمق آب مورد نیاز یا کاربردی بر حسب میلی‌متر در سال، ET کل میزان آب سالیانه مورد نیاز یا تقاضای گیاه، برحسب میلی‌متر در سال و LR، نیاز آبشوئی که به صورت کسری (اعشاری) بیان می‌گردد.

مجدداً یادآوری می‌نماید که نیاز آبشوئی (LR) به صورت کسری و افزون بر نیاز آبی گیاه تعریف شده است که ضرورت دارد این میزان آب از محدوده توسعه ریشه گیاهان عبور نموده نمک‌های محلول را آبشوئی و در حد مورد نظر تنظیم نماید.

- **نتایج حاصل از آزمون مدل در مطالعه موردی**

برای بررسی امکانات ارایه این حالت (گزینه) ابتدا ضرورت داشت تا فرایند «شوری زدائی» خاک و اراضی محدوده مورد نظر به دقت مورد مطالعه قرار گیرد. بدین منظور رابطه تجربی شوری‌زدائی خاک‌های محدوده که بر پایه آزمونهای مزرعه‌ای حاصل گردیده بود و بشرح زیر می‌باشد (با ضریب همبستگی r=۰/۸۷۶۷ و درجه معنی‌داری در سطح ۱٪).

$$Y = ۰/۹۰۶ \exp(-۱/۰۴۰X) \qquad (۱۷)$$

که در آن: $[Y = (EC_f - EC_{eq})/(EC_i - EC_{eq})]$ و $[X = (Dlw/Ds)]$ می‌باشد، مورد توجه قرار گرفته و سپس بمنظور تدقیق نتایج حاصل از «شبیه‌سازی مدل تجربی» ضرایب لازمه یعنی، ضریب راندمان آبشوئی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک (f) و میزان رطوبت حجمی خاک طی فرآیند آبشوئی (θv) در آن لحاظ گردد و بدین ترتیب شکل کامل شده «معادله یا مدل تجربی شوری زدائی خاک‌های محدوده مورد نظر» به شکل کلی زیر تکمیل و مورد استفاده قرار گرفت.

$$Y = 0/906 \exp[-1/040 (f.Dlw)/(\theta v.Ds)] \qquad (۱۸)$$

معادله (۱۸) را بصورت زیر نیز می‌توان ارایه داد:

$$Y = 0/906 \exp[-1/040 (f/\theta v)/(Dlw/Ds)]$$ (۱۸) مکرر

در روابط گفته شده علایم بکار رفته دارای معانی و ابعاد پیش‌گفته می‌باشند.

بدلیل سنگینی بافت خاک‌های منطقه و همانگونه که قبلاً متذکر گردید برآورد و انتخاب ضریب راندمان آبشوئی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک‌ها (f) برابر با ۰/۳ منطقی می‌باشد. بدین ترتیب برای استفاده از رابطه تجربی (۱۸) نیاز به در اختیار داشتن ارقام و اطلاعات لازم درخصوص میزان رطوبت حجمی خاک طی فرایند آبشوئی (θv) می‌باشد که بدین منظور با استفاده از ارقام و اطلاعات موجود نسبت به انجام محاسبات لازم بروی ارقام مربوطه اقدام بعمل آمد که نتایج در جدول (۱) نشان داده شده است.

سپس نسبت به تهیه یک «مدل شبیه‌سازی رایانه‌ای» تحت عنوان فرایند آبشوئی[1] به زبان «Basic» اقدام گردید. این مدل قادر است میزان شوری نهائی (هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک) را به ازای کاربرد مقادیر متناسب آب آبیاری یا آبشویی (و یا نفوذ عمقی حاصل از عملیات آبیاری) با دقت نسبی مطلوبی برآورد یا پیش‌بینی نماید. برای کاربرد مدل، داده‌های ورودی زیر بکار رفته است.

- مقادیر شوری اولیه (ECi) برحسب دسی زیمنس بر متر (dS/m) بطور متوسط برای نیمرخ خاک به ضخامت ۱/۰ متر، و برای چهار سطح شوری (عصاره اشباع خاک)، ۳۲/۰، ۲۴/۰، ۱۶/۰ و ۸/۰ دسی‌زیمنس بر متر (که به ترتیب مترادف با درجات شوری خاک S_4، S_3، S_2 و S_1 می‌باشد).
- اعمال راندمان آبشوئی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک‌ها (f) به مقدار ۰/۳ و برای کلیه حالت‌های محاسباتی (در سطوح متفاوت شوری اولیه نیمرخ خاک و برای کلیه مقادیر نفوذ عمقی ماهیانه حاصل از عملیات آبیاری).
- لحاظ نمودن میزان شوری تعادلی عصاره اشباع خاک (EC_{eq}) برابر با ۳/۹۹ دسی‌زیمنس بر متر (dS/m) که برای توانمندی (پتانسیل) عملکرد محصول (میوه) گیاهان گرمسیری (خرما) بسیار مناسب است و بطور تقریبی معادل ۲/۷۵ برابر متوسط شوری آب آبیاری (ECw) منبع مورد نظر می‌باشد.
- منظور نمودن هدایت الکتریکی (شوری) متوسط آب آبیاری معادل ۱/۴۵ دسی‌زیمنس بر متر (dS/m) و بطور متوسط برای کلیه دوره‌ها و در طول یکسال زراعی.
- استفاده از ارقام مندرج در جدول (۱) و برای پنج سطح متفاوت (شرایط رطوبتی خاک*) میزان رطوبت حجمی خاک (θv) طی فرایند «شوری‌زدائی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک».

1- Leaching Process

* شرایط رطوبتی خاک (مقادیر رطوبت‌های حجمی) به شرح مندرج در جدول (۱) و به ترتیب برابر با ۰/۲۱، ۰/۳۱، ۰/۳۹ (متوسط میانگین‌های هندسی)، ۰/۴۱ و ۰/۶۲ بوده‌اند.

- کاربرد «مقادیر نفوذ عمقی ماهیانه» مندرج در جدول (۲) که معرف موارد کاربرد و مصرف آب آبیاری و میزان تلفات آب کاربردی در محدوده مورد بررسی با راندمان آبیاری ۶۵٪ می‌باشد (برحسب متر)، که بدلیل پیش‌بینی و یا برآورد «محتاطانه‌تر» مقادیر شوری نهائی عصاره اشباع خاک، ضریب تعدیل ۰/۹۷ بروی آن اعمال شده است.
- همچنین در اجرای مدل، فرض گردیده که «فرایند شوری زدائی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک» فقط بوسیله نفوذ عمقی آب آبیاری (در این حالت بصورت تجمعی ماهیانه) بانجام می‌رسد و در اولین دوره کاربرد آب آبیاری در سال (فروردین ماه) عمق آب کاربردی و نفوذ عمقی مربوطه رافع «کسر رطوبت لایه‌های مختلف نیمرخ خاک تا عمق ۱/۰ متری» می‌باشد و بدین ترتیب حصول نفوذ عمقی ناشی از کاربرد آب آبیاری، امکان‌پذیر می‌گردد.
- در اجرای این مدل، ستون خاک تا عمق ۱/۰ متری به چهار لایه ۰/۲۵ متری تفکیک گردیده است (بصورت اختیاری) بطوریکه در سه ماهه‌های چهارگانه سال زراعی (اول، دوم، سوم و چهارم) یا فصول مختلف، اعماق اصلاح خاک (از سطح مزرعه) مورد نظر به ترتیب برابر با ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱/۰ متر (روند افزایشی) را طی می‌نماید.

توانمندی «شبیه‌سازی فرایند شوری زدائی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک» در این مدل گسترده و جامع می‌باشد که با سهولت نسبی می‌توان داده‌های ورودی و در نتیجه عوامل خروجی را وارسی و بهینه‌سازی نمود. بعنوان مثال در صورت وجود «تقویم آبیاری مدون» برای اراضی محدوده مورد نظر و با اعمال «نفوذ عمقی ناشی از کاربرد هر دوره آب آبیاری» مدل قادر می‌باشد که میزان شوری نهائی (EC_f) را بازای کاربرد «همان مقدار نفوذ عمقی» برآورد و یا پیش‌بینی نماید. علاوه بر آن دوره زمانی لحاظ شده در مدل می‌تواند برای مدت طولانی (نسبی و نه فقط یکسال زراعی) عملیات مورد نظر را بانجام رساند.

بایستی متذکر گردید که محاسبات بانجام رسیده در این مورد «بصورت ماهیانه» بانجام رسید لیکن کاربرد «تقویم آبیاری مدون و قدیمی» که بوسیله یکی از شرکت‌های مهندسی مشاور تهیه گردیده بود برای واسنجی مدل مورد استفاده قرار گرفت که نتایج حاصله با آنچه از طریق کاربرد مستقیم رابطه (۱۸) حاصل می‌گردد نتایج یکسانی (با تقریب قابل قبول) را حاصل می‌نماید.

با عنایت بر موارد گفته شده، نسبت به اجرای «مدل» با ارقام ورودی متذکره و برای بررسی وضعیت «فرایند شوری‌زدائی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک» اقدام بعمل آمده که خلاصه نتایج حاصله در جدول (۳) ارایه شده است. بررسی مندرجات جدول (با مقادیر متفاوت شوری اولیه) نشان می‌دهد که در شرایط رطوبتی خاک (۲) [که در جدول (۱) تحت عنوان رطوبت بینابینی آمده است] فرایند شوری‌زدائی «مطلوب‌تر*» بوده است که در

---

* در شرایط رطوبتی خاک (۱) هرچند روند " شوری‌زدائی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک" بسیار مطلوب‌تر می‌باشد لیکن حصول این حالت در مزرعه و طی عملیات آبیاری (و نه بمنظور آبشوئی متناوب نمک‌های محلول) به سهولت قابل دستیابی نمی‌باشد.

** برحسب، سانتی‌مترمکعب بر سانتی‌مترمکعب.

این حالت میزان رطوبت حجمی خاک در حد ۰/۳۱** (مترادف با مقدار رطوبت نیمرخ خاک در حد کمی بیشتر از ظرفیت زراعی) می‌باشد. این نتیجه با نتایج پژوهش‌های مشابه بانجام رسیده در سایر مناطق کشور هم خوانی مناسبی دارد و بیانگر حالت آبشوئی «متناوب» می‌باشد که با آنچه مورد نظر بوده، هم‌آهنگ است (وقوع فرایند شوری‌زدایی از طریق عملیات آبیاری). وضعیت حاصل شده در شرایط رطوبتی خاک (۴) و (۵) را می‌توان معرف شرایط آبشوئی «غرقاب دایم» منظور نمود که طی آن بدلیل اشباع بودن (مطلق یا نسبی) ستون خاک عملیات آبشوئی نمکهای محلول از نیمرخ خاک‌ها با سرعت و شدت کمتری بوقوع می‌پیوند. که این مسئله نیز با دست آورد سایر بررسی کنندگان همخوانی دارد.

بررسی جدول گفته شده نشان می‌دهد که برای سطوح شوری اولیه عصاره اشباع خاک S_4 و S_3 (مترادف با ۳۲/۰ و ۲۴/۰ دسی‌زیمنس بر متر) در شش ماهه اول سال زراعی (فروردین لغایت شهریور ماه) مقادیر شوری نهائی بطور نسبی زیاد و قابل ملاحظه می‌باشد. لیکن در شش ماه دوم سال زراعی (مهر لغایت اسفندماه) مقادیر شوری نهائی برآورد شده از مدل و برای هر دو سطح شوری اولیه (ECi) حالت متعادلی یافته و هم از نظر مقدار و هم چنین از دیدگاه روند کاهش شرایط ثبات نسبی (عدم تغییر زیاد) را که حاکی از ایجاد «شرایط تعادلی» بین کیفیت آب کاربردی و شوری عصاره اشباع خاک می‌باشد را نمودار می‌سازد. و پس از یکسال زراعی مقادیر شوری نهائی (EC_f) مربوطه به حدود ۵/۰۵ و ۴/۷۵ دسی زیمنس بر متر (dS/m) پیش‌بینی می‌گردد.

مشاهدات عینی و بازدیدهای مزرعه‌ای نشان می‌دهد که در حال حاضر در اراضی مورد کشت و بهره‌برداری گیاهان دایمی و چندساله مقادیری محصول تولید می‌نمایند. بنابراین پیش‌فرض اینکه سطوح شوری اولیه نیمرخ خاک در حدود متذکره (۳۲/۰ و ۲۴/۰ دسی‌زیمنس بر متر) باشد منطقی بنظر نمی‌رسد. برای سطوح شوری اولیه عصاره اشباع خاک S_2 و S_1 (مترادف با ۱۶/۰ و ۸/۰ دسی‌زیمنس بر متر) در سه ماهه اول سال زراعی (فروردین لغایت خرداد ماه)، مقادیر شوری نهائی بطور نسبی متوسط و قابل توجه است لیکن در نه ماهه باقیمانده سال (تیر لغایت اسفندماه) مقادیر شوری نهائی برآورد شده از مدل و برای هر دو سطح شوری اولیه (ECi) حالت متعادلی یافته و هم از نظر مقدار و هم چنین از دیدگاه روند کاهش شرایط ثبات نسبی (عدم تغییر زیاد) را که نشان دهنده ایجاد «شرایط تعادلی» بین کیفیت آب کاربردی و شوری عصاره اشباع خاک می‌باشد را نمودار می‌سازد و بعد از یکسال زراعی مقادیر شوری نهائی (EC_f) مربوطه به حدود ۴/۴۵ و ۴/۱۴ دسی‌زیمنس بر متر (dS/m) مورد انتظار می‌باشد، که مقادیر اخیر معادل ۳/۰۷ و ۲/۸۵ برابر متوسط «شوری آب کاربردی» و فقط به میزان بسیار اندکی از رقم شوری تعادلی (EC_{eq}) بکار رفته در مدل زیادتر می‌باشند.

تذکر این مهم ضروری است که انتخاب «رقم شوری تعادلی (EC_{eq})» بکار رفته در مدل نه تنها مرتبط با تناسب کاربرد آن برای عملکرد مورد نظر گیاه (هان) مندرج در ترکیب کشت (فعلی و یا آتی) می‌باشد بلکه تحت تأثیر «رقم شوری نهائی و تعادلی» منتج از اجرای آزمون‌های مزرعه‌ای بررسی امکانات شوری و سدیم زدایی خاک‌های محدوده مورد بررسی می‌باشد که آثار آن در تعریف شکل ریاضی روابط (۱۷) و (۱۸) به صور مستقیم یا غیرمستقیم متجلی است.

جدول (۱)- موقعیت نقاط انتخابی، مشخصات فیزیکی و مقادیر رطوبت‌های وزنی و حجمی در حالت‌های متفاوت و مورد نظر

نقاط انتخابی	شماره پروفیل شاهد	درصد اشباع	مقادیر رطوبت (درصد وزنی)		جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم برسانتیمتر مکعب)	مقادیر درصد رطوبت وزنی در حدود				مقادیر رطوبت‌های حجمی در حدود			
			ظرفیت زراعی	پژمردگی دایم		ظرفیت زراعی	رطوبت بینابینی	رطوبت اشباع	رطوبت کل *	ظرفیت زراعی	رطوبت بینابینی	رطوبت اشباع	رطوبت کل *
یک	۱۰	۵۴/۵۰	۲۹/۷۰	۱۷/۱۷	۱/۵۱	۱۲/۵۳	۱۸/۶۶	۲۴/۸۰	۲۷/۳۲	۱۸/۹۲	۲۸/۱۸	۳۷/۴۵	۵۶/۳۷
دو	۳۳	۶۶/۰۰	۳۷/۲۲	۲۱/۲۴	۱/۴۶	۱۶/۴۸	۲۲/۳۸	۲۸/۲۸	۴۴/۷۶	۲۴/۰۶	۳۲/۶۷	۴۱/۲۹	۶۵/۳۵
سه	۴۰	۶۴/۵۰	۳۱/۲۰	۱۷/۱۰	۱/۴۱	۱۴/۱۰	۲۳/۷۰	۳۳/۳۰	۴۷/۴۰	۱۹/۸۸	۳۳/۴۲	۴۶/۹۵	۶۶/۰۳
میانگین حسابی		۶۱/۷۰	۳۲/۸۷	۱۸/۵۰	۱/۴۶	۱۴/۳۷	۲۱/۵۸	۲۸/۷۹	۳۹/۸۳	۲۰/۹۵	۳۱/۴۲	۴۱/۹۰	۶۵/۵۸
میانگین هندسی		۶۱/۴۴	۳۲/۵۵	۱۸/۴۱	۱/۴۶	۱۴/۲۴	۲۱/۴۰	۲۸/۴۹	۴۲/۸پ۷	۲۰/۸۴	۳۱/۳۴	۴۱/۷۲	۶۲/۴۲

* میزان رطوبت‌های وزنی و حجمی کل از نقطه پژمردگی دایم تا مقدار درصد اشباع نمونه خاک است.

** ارقام عوامل اصلی متن جدول میانگین چهار تکرار (اعماق نمونه‌برداری، ۰-۱۰۰ سانتیمتری) می‌باشد.

جدول (۲) - موارد کاربرد و مصرف آب آبیاری و میزان تلفات آب کاربردی برای واحد یک هکتاری در محدوده مورد بررسی (راندمان آبیاری ۶۵٪)

ردیف	ماه‌های سال	حجم آب مصرفی در هکتار (مترمکعب)	عمق آب مصرفی در هکتار (متر)	اعماق آب مصرفی (متر) *		شدت تخلیه زهکشی (میلیمتردرروز)	حجم آب زهکشی (مترمکعب در روز درهکتار)
				نیاز آبی گیاه (٪۷۲)	نفوذ عمقی (٪۲۸)		
۱	فروردین	۲۸۵۶/۱	۰/۲۸۵۶۱	۰/۲۰۵۶۴	۰/۰۷۹۹۷	۲/۵۸	۲۵/۸
۲	اردیبهشت	۳۷۹۵/۰	۰/۳۷۹۵۰	۰/۲۷۳۲۴	۰/۱۰۶۲۶	۳/۴۳	۳۴/۳
۳	خرداد	۴۳۸۹/۹	۰/۴۳۸۹۹	۰/۳۱۶۰۷	۰/۱۲۲۹۲	۳/۹۶	۳۹/۶
۴	تیر	۴۴۸۱/۶	۰/۴۴۸۱۶	۰/۳۲۲۶۷	۰/۱۲۵۴۸	۴/۰۵	۴۰/۵
۵	مرداد	۴۰۷۲/۷	۰/۴۰۷۲۷	۰/۲۹۳۲۳	۰/۱۱۴۰۳	۳/۶۸	۳۶/۸
۶	شهریور	۳۲۷۶/۲	۰/۳۲۷۶۲	۰/۲۳۵۸۹	۰/۰۹۱۷۳	۲/۹۶	۲۹/۶
۷	مهر	۲۱۴۹/۴	۰/۲۱۴۹۴	۰/۱۵۴۷۵	۰/۰۶۰۱۸	۲/۰۱	۲۰/۱
۸	آبان	۱۲۶۹/۵	۰/۱۲۶۹۵	۰/۰۹۱۴۰	۰/۰۳۵۵۵	۱/۱۸	۱۱/۸
۹	آذر	۸۱۵/۶	۰/۰۸۱۵۶	۰/۰۵۸۷۲	۰/۰۲۲۸۴	۰/۷۶	۷/۶
۱۰	دی	۷۶۷/۴	۰/۰۷۶۷۴	۰/۰۵۵۲۶	۰/۰۲۱۴۹	۰/۷۲	۷/۲
۱۱	بهمن	۱۰۸۴/۰	۰/۱۰۸۴۰	۰/۰۷۸۰۵	۰/۰۳۰۳۵	۱/۰۱	۱۰/۱
۱۲	اسفند	۲۰۱۵/۴	۰/۲۰۱۵۴	۰/۱۴۵۱۱	۰/۰۵۶۴۳	۱/۹۵	۱۹/۵
جمع کل		۳۰۹۷۳/۰	۳/۰۹۷۴۸	۲/۲۳۰۰۶	۰/۸۶۷۲۴	-	-

* میزان نفوذ عمقی ۲۳٪ ، هدر رفت غیرقابل اجتناب در روش آبیاری سطحی و ۵٪ برای سایر تلفات عمقی منظور شده است.

جدول (۳)- خلاصه نتایج حاصل از کاربرد «مدل شبیه‌سازی رایانه‌ای» فرایند آبشوئی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک و برای شرایط رطوبتی خاک (۲) مندرج در جدول (۱)

ردیف	ماه‌های سال	روزهای ماه	روزهای تجمعی از شروع سال	نفوذ عمقی ماهیانه آب آبیاری (متر)	عمق اصلاح خاک از سطح زمین (متر)	میزان شوری اولیه عصاره اشباع خاک ۳۲/۰ دسی‌زیمنس بر متر		میزان شوری اولیه عصاره اشباع خاک ۲۴/۰ دسی‌زیمنس بر متر		میزان شوری اولیه عصاره اشباع خاک ۱۶/۰ دسی‌زیمنس بر متر		میزان شوری اولیه عصاره اشباع خاک ۸/۰ دسی‌زیمنس بر متر	
						ابتدای ماه	انتهای ماه	ابتدای ماه	انتهای ماه	ابتدای ماه	انتهای ماه	ابتدای ماه	انتهای ماه
۱	فروردین	۳۱	۳۱	۰/۰۷۷۶۹	۰/۲۵	۳۲/۰۰	۲۲/۶۱	۲۴/۰۰	۱۷/۳۰	۱۶/۰۰	۱۱/۹۸	۸/۰۰	۶/۶۵
۲	اردیبهشت	۳۱	۶۲	۰/۱۰۳۲۲	۰/۲۵	۲۲/۶۱	۱۵/۱۷	۱۷/۳۰	۱۱/۹۸	۱۱/۹۸	۸/۷۸	۶/۶۵	۵/۵۸
۳	خرداد	۳۱	۹۳	۰/۱۱۹۴۰	۰/۲۵	۱۵/۱۷	۱۰/۲۸	۱۱/۹۸	۸/۴۹	۸/۷۸	۶/۶۹	۵/۵۸	۴/۸۸
۴	تیر	۳۱	۱۲۴	۰/۱۲۱۹۰	۰/۵۰	۱۰/۲۸	۸/۴۶	۸/۴۹	۷/۱۹	۶/۶۹	۵/۹۱	۴/۸۸	۴/۶۲
۵	مرداد	۳۱	۱۵۵	۰/۱۱۰۷۸	۰/۵۰	۸/۴۶	۷/۲۴	۷/۱۹	۶/۳۱	۵/۹۱	۵/۳۸	۴/۶۲	۴/۴۵
۶	شهریور	۳۱	۱۸۶	۰/۰۸۹۱۱	۰/۵۰	۷/۲۴	۶/۴۶	۶/۳۱	۵/۷۵	۵/۳۸	۵/۰۵	۴/۴۵	۴/۳۴
۷	مهر	۳۰	۲۱۶	۰/۰۵۸۴۶	۰/۷۵	۶/۴۶	۶/۰۶	۵/۷۵	۵/۴۷	۵/۰۵	۴/۸۸	۴/۳۴	۴/۲۸
۸	آبان	۳۰	۲۴۶	۰/۰۳۴۵۳	۰/۷۵	۶/۰۶	۵/۷۸	۵/۴۷	۵/۲۷	۴/۸۸	۴/۷۶	۴/۲۸	۴/۲۴
۹	آذر	۳۰	۲۷۶	۰/۰۲۲۱۹	۰/۷۵	۵/۷۸	۵/۵۷	۵/۲۷	۵/۱۲	۴/۷۶	۴/۶۷	۴/۲۴	۴/۲۱
۱۰	دی	۳۰	۳۰۶	۰/۰۲۰۸۷	۱/۰۰	۵/۵۷	۵/۳۹	۵/۱۲	۴/۹۹	۴/۶۷	۴/۵۹	۴/۲۱	۴/۱۹
۱۱	بهمن	۳۰	۳۳۶	۰/۰۲۹۴۸	۱/۰۰	۵/۳۹	۵/۲۳	۴/۹۹	۴/۸۷	۴/۵۹	۴/۵۲	۴/۱۹	۴/۱۶
۱۲	اسفند	۲۹	۳۶۵	۰/۰۵۴۸۲	۱/۰۰	۵/۲۳	۵/۰۵	۴/۸۷	۴/۷۵	۴/۵۲	۴/۴۵	۴/۱۶	۴/۱۴
جمع کل		۳۶۵	–	۰/۸۴۲۴۷	–	–	–	–	–	–	–	–	–

فهرست منابع:

۱ـ پیش‌نویس استاندارد کاربرد و ارزیابی مدل‌های تجربی و نظری آبشوئی املاح خاک‌های شور، نشریه شماره ۲۷۶- الف، دفتر استاندارد مهندسی آب، وزارت نیرو (۱۳۸۴).

۲ـ دستورالعمل آزمایشهای آبشویی خاک‌های شور و سدیمی در ایران، نشریه شماره ۲۵۵ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، دفتر استاندارد مهندسی آب- سازمان مدیریت منابع آب، وزارت نیرو (۱۳۸۱)

۳ـ پذیرا، ابراهیم و عباس کشاورز (۱۳۷۸): بررسی و تعیین آب مورد نیاز اصلاحی خاک‌های شور و سدیمی اراضی جنوب شرقی استان خوزستان، مجله تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، جلد ۴ شماره ۱۶ .

4_ Abrol, L.P, Yadav, J.S.P, and F.I, Massaud (1988): Salt-Affected Soils and Their Management, FAO, Soils Buletin. No.39. FAO, Rome.

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

6_ Lal, P. Chippa, B.R and Arvind Kumar (2003): Salt Affected Soils and Crop Production, A, Modern Synthesis, AGROBIS (India).

7_ Mahler, P.J (1979): Manual of Land Classification for Irrigation, No. 205, Soil Institute of Iran, Rev. 3.

8_ Pazira, E (1999): Land Reclamation Research on Soil Physico-Chemical Improvement by Salt Leaching in South-Western Part of Iran, Innovation of Agricultural Engineering Technologies for The 21st Century , P.R. China.