

تغییرات شوری اعماق خاک در اثر آبیاری با آب شور

وحید یزدانی^{*}، سپیده یکه‌باش^۱، محمد سلطانی^۲

- (۱) دکتری علوم و مهندسی آب، مدیر عامل شرکت مهندسی مشاور هیدروپی.
(۲) دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران، محیط زیست دانشگاه غیرانتفاعی اسرار.
(۳) دکتری مهندسی عمران، استادیار گروه مهندسی عمران دانشگاه غیرانتفاعی اسرار.

*نویسنده مسئول: v.yazdany@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۱۶

چکیده

این تحقیق به منظور بررسی تاثیر شوری آب آبیاری بر کیفیت خاک در سطح و اعماق انجام گرفت. در این تحقیق از نسبت‌های مختلف سنگ نمک طبیعی و آب چاه با دبی ۳۵ لیتر در ثانیه (در مختصات ۳۹/۵° و ۲۷°۵۹ و ۲۷°۳۹ و ۲۶°۳۶) به منظور ایجاد شوری‌های متفاوت در شرایط کشت کلزا استفاده شد. در شرایط ماندگار، در یک غلظت مشخص از آب آبیاری، توزیع متفاوت در جذب آب سبب توزیع متفاوت شوری در خاک می‌شود. بر این اساس، از معادلات تابع جذب آب نمایی، دوزنقه‌ای و الگوی جذب جهت بررسی تغییرات شوری استفاده شد. نتایج نشان داد با افزایش زمان بعد از کاشت و اعمال تیمارهای مختلف آبیاری، مقدار شوری عصاره اشباع خاک در اعماق مختلف خاک افزایش می‌یابد. در ۳ تاریخ اولیه مقدار تفاوت در EC عصاره اشباع خاک خیلی زیاد نیست و در تاریخ ۴ و ۵ نمونه برداری (یعنی ۱۰۲ و ۱۱۸ روز بعد از کشت کلزا) مقدار تفاوت‌ها بیشتر می‌شود. دلیل تفاوت کم در تاریخ‌های ۵۶، ۷۱ و ۸۷ روز بعد از کشت کلزا، وجود بارش در این مدت می‌باشد. در ۷۱ روز بعد از کشت کلزا مقدار EC عصاره اشباع در اغلب تیمارها کاهش داشت و از روند افزایشی پیروی نمی‌کرد که دلیل آن وقوع بارش در بازه اول الی ۱۵ خرداد بود؛ که باعث آب‌شویی املاح شده و EC عصاره اشباع خاک کاهش یافته است. البته باید اشاره داشت که در تیمار I4 چنین روندی مشاهده نمی‌گردد. زیرا کم‌آبیاری شدید در این تیمار باعث تجمع املاح در سطح خاک شده است که بارش‌ها تنها سطح خاک را آب‌شویی نموده و املاح را به اعماق پایین‌تر منتقل کرده است. نتایج نشان داد که مدل دوزنقه‌ای قادر به پیش‌بینی شوری عصاره اشباع خاک نمی‌باشد. این روش شوری عصاره اشباع خاک را بسیار بیشتر از واقعیت برآورد می‌کند و نتایج آن تنها در شوری ۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر تاحدودی قابل قبول است. در مقابل، نتایج دو مدل دیگر یعنی مدل نمایی و مدل تابع جذب، نتایج مناسب‌تری را ارائه دادند. مدل نمایی در این سه سطح آبیاری دارای دقت قابل قبول‌تری نسبت به مدل تابع جذب بود.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، پیش‌بینی شوری خاک، تغییرات شوری، شوری خاک.

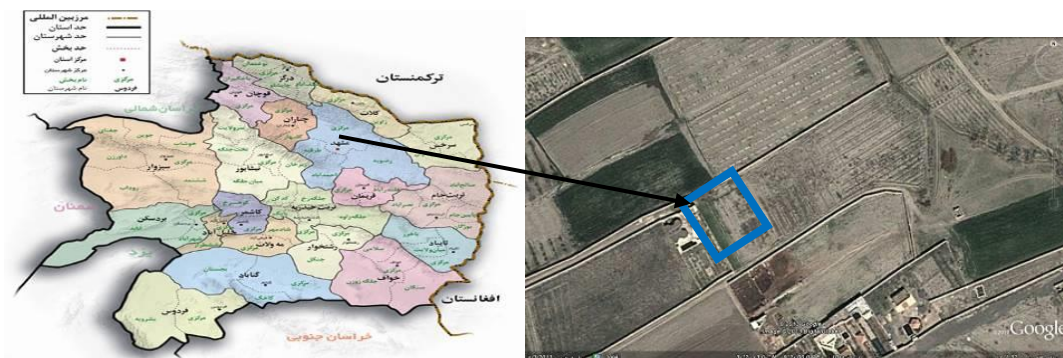
مقدمه

رشد روزافزون جمعیت جهان و در نتیجه نیاز بیش تر به تولیدات کشاورزی از مسائل مهمی است که امروزه بشر با آن روبرو است. در این ارتباط محدودیت منابع آب و خاک به عنوان بستر اصلی تولیدات کشاورزی نیز مطرح بوده، بطوری که هم اکنون استفاده بهینه از منابع آب در سرلوحه فعالیت‌های کشورهای مختلف قرار گرفته است. در حال حاضر کشور ایران همچون سایر کشورهای واقع در کمربند خشک کره زمین، دچار کم آبی بوده و پیش‌بینی می‌شود طی نیم قرن آتی از جمله ۶۶ کشوری باشد که از تنش آبی رنج خواهند برد (نوروزی و همکاران، ۱۳۷۸). بنابراین باید برای مصرف آب‌های در دسترس به‌عنوان یک کالای با ارزش اهمیت بیشتری قائل شد. استفاده از آب‌های شیرین و تازه استحصال شده در رابطه با شرب، بهداشت و صنعت در اولویت قرار داشته، لیکن در بخش کشاورزی می‌توان کاربرد آب‌های لب‌شور و شور را نیز به‌عنوان یک منبع تأمین آب در نظر گرفت و آن را در زمره انتخاب راهبردهای مهم اهداف ملی توسعه منظور نمود. استفاده از آب شور برای آبیاری مزارع ممکن است از طریق افزایش فشار اسمزی محلول خاک باعث کاهش تعرق و در نهایت کاهش عملکرد گیاهان شود (Silber et al., 2015). از طرفی افزایش شوری خاک علاوه بر کاهش عملکرد گیاهان زراعی تهدیدی برای محیط زیست، اقتصاد و امنیت غذایی محسوب می‌شود (Song et al., 2016). روند برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی از طریق چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق و پیشروی آب شور در سفره آب شیرین، باعث شده تا آب شور از گستردگی بیشتری برخوردار گردد و هر روز حجم آن افزایش یابد. لذا دورنمای آب و آبیاری بر اساس شناخت وضعیت موجود، بیانگر گرایش به سمت استفاده از آب‌های نامتعارف (آب شور زهکش‌ها، فاضلاب‌های صنعتی و کشاورزی، آب‌های شور زیرزمینی و آب دریا) می‌باشد. از آنجا که این قبیل آب‌ها بر ویژگی‌های فیزیکی خاک، عملکرد محصول و محیط زیست اثرات نامطلوبی بجای می‌گذارند، تمهیدات لازم جهت کاهش اثرات خسارت بار آن‌ها اجتناب ناپذیر است. با بالا رفتن غلظت املاح در محلول خاک، فشار اسمزی افزایش یافته و این به نوبه خود جذب آب توسط ریشه‌ها را کاهش می‌دهد. هر چند که اثر هر یک از دو پدیده در کاهش جذب آب به تنهایی از مدت‌ها پیش شناسایی شده، اما سوال اینجاست که به هنگام وجود توأمان این دو عامل، جذب آب توسط گیاه به چه میزان کاهش می‌یابد؟ و سهم هر یک از پتانسیل‌های مذکور بر کاهش عملکرد محصول چقدر خواهد بود؟ بر اساس آمار موجود، بالغ بر ۱۰/۰۶ میلیارد مترمکعب از آب‌های سطحی در کشور ایران شامل آب‌های شور و لب‌شور می‌باشد (نوشادی، ۱۳۹۲). برآورد شوری نیم‌رخ خاک بر اثر شوری آب زیرزمینی در دشت آزادگان نشان داد که شوری پروفیل خاک تا حد زیادی وابسته به شوری آب زیرزمینی بوده و این وابستگی‌ها با افزایش عمق خاک از سطح زمین، افزایش یافته است (رحیمیان و همکاران، ۱۳۹۱). سجادی و همکاران (۱۳۹۱) تأثیر کیفیت آب آبیاری بر خصوصیات خاک در دشت رباط شهربابک را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج بدست آمده از تحقیقات آن‌ها بیان‌گر آن می‌باشد که خصوصیات شیمیایی خاک‌ها بیش‌تر از پارامترهای فیزیکی و حاصل‌خیزی، تحت تأثیر کیفیت آب آبیاری قرار گرفته است. Aragüesa و همکاران (۲۰۱۱) شوری خاک را در ارتباط

با خصوصیات فیزیکی خاک و مدیریت آبیاری در ۴ منطقه تحت آبیاری نواحیه مدیریتانه‌ای مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که شوری خاک عمدتاً تحت تأثیر شوری آب آبیاری و کیفیت آن قرار داشته و شوری آب زهکشی عمدتاً تحت تأثیر شوری خاک و کیفیت آب آبیاری قرار داشته است. فیضی (۱۳۹۲) بیان داشت که به‌طور کلی شوری آب آبیاری باعث افزایش روند انباشت نمک در خاک شده ولی مدیریت آبیاری و اعمال آب‌شویی باعث کاهش روند افزایش شوری خاک در طول فصل زراعی شده است. علی‌حوری و همکاران (۱۳۹۴) نشان دادند که میزان شوری خاک رابطه مستقیم و معنی‌داری با هدایت الکتریکی آب آبیاری داشته و همچنین شوری خاک با افزایش عمق خاک کاهش یافته است. روستا و همکاران (۱۳۹۲) نیز گزارش کردند که کمینه درصد رطوبت وزنی خاک در تیمار آبیاری با آب غیرشور و بیشینه آن در تیمارهای بیشتر از ۶ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد. این پژوهشگران همچنین نشان دادند که شوری آب زهکش با افزایش سطح شوری آب آبیاری به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. شوری با کاهش انرژی آب خاک در تمام دامنه منحنی رطوبتی سبب کاهش جذب آب می‌شود (ختار و محمدی، ۱۳۹۸). اعتقاد بر این است که IWC رفتار پدیده‌های طبیعی در خاک را بهتر منعکس می‌کند (Asgarzadeh et al., 2010) و لذا می‌تواند جهت مدیریت مناسب آبیاری و دستیابی به حداکثر عملکرد مورد استفاده قرار گیرد. با کاهش پتانسیل آب خاک، میزان تبخیر از سطح خاک کاسته شده و توزیع مجدد شوری و رطوبت در پروفیل خاک با گذشت زمان تغییرات کمتری می‌یابد (Wan et al., 2007). Zarei و همکاران (۲۰۰۸) نشان دادند که علاوه بر پتانسیل آب خاک و کیفیت آب آبیاری، تواتر آبیاری نیز بر توزیع مجدد شوری مؤثر است. شوری شدید و یا ادامه آن برای مدت طولانی، ممکن است منجر به ایجاد وضعیت غیرقابل تحمل متابولیک در سلول‌های گیاهی گردد و از آنجا که در گیاهان مختلف میزان تحمل متفاوت است، این تغییرات موجب کاهش رشد و در شرایط ویژه منجر به مرگ گیاه می‌گردد (کریمی‌افشار و همکاران، ۱۳۹۴). با عنایت به شرایط حاکم بر منابع آب دشت مشهد و با توجه به تأثیر شوری آب آبیاری بر شوری خاک، تحقیق حاضر به تأثیر شوری آب آبیاری بر شوری پروفیل خاک در تیمارهای مختلف آبیاری پرداخته است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در مزرعه‌ای که در فاصله ۲۵ کیلومتری از مرکز شهر مشهد و در فاصله ۳ کیلومتری آرامگاه فردوسی مشهد در مختصات جغرافیایی ۳۶° ۲۷' شمالی و ۵۸° ۲۷' شرقی و با ارتفاع ۱۰۴۴ متر از سطح دریا واقع شده است، اجرا گردید (شکل ۱). برای انجام این پژوهش زمینی به مساحت ۱۰۰۰ متر مربع که طی ۲ سال قبلی بصورت آیش بود، انتخاب گردید.



شکل ۱: مزرعه محل آزمایش

به منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، قبل از مراحل آماده سازی زمین، ابتدا زمین مورد نظر انتخاب و قبل از انجام آزمایشات نمونه های مرکبی از ۵ نقطه محدوده کشت و چهار عمق ۰-۲۵، ۲۵-۵۰، ۵۰-۷۵ و ۷۵-۱۰۰ سانتی متری خاک برداشت شد. نمونه ها به آزمایشگاه منتقل و بعد از خشک کردن، خرد کردن و عبور از الک ۲ میلی متری، توزیع اندازه ذرات با استفاده از روش هیدرومتری اندازه گیری شد. تعیین هدایت هیدرولیکی (EC) با استفاده از دستگاه هدایت سنج مدل یوتک PCS35 (کمپانی Eutech) و اندازه گیری pH در گل اشباع توسط pH متر مدل یوتک PCS35 (کمپانی Eutech) انجام شد. پتاسیم قابل جذب با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر، فسفر قابل جذب با استفاده از روش اولسن با اسپکتروفومتر و درصد کربن آلی از طریق تعیین نیتروژن کل به روش کج لیدال اندازه گیری شد. برای تعیین جرم مخصوص ظاهری و جرم مخصوص حقیقی هر لایه خاک نیز نمونه های دست نخورده توسط استوانه های نمونه برداری به قطر ۵ و ارتفاع ۵ سانتی متر تهیه شد و به ترتیب توسط روش کلوخه پارافینی و قانون ارشمیدس تعیین گردید (شکل ۲). برای تعیین منحنی رطوبتی و اطلاع از کیفیت و کمیت نگهداشت رطوبت در خاک، نمونه های دست نخورده خاک از ۵ نقطه از زمین و در هر چهار عمق تهیه شد و در آزمایشگاه مهندسی آب دانشگاه فردوسی مشهد و با استفاده از صفحات فشاری و اعمال فشارهای ۰/۳، ۱، ۴، ۷، ۱۰ و ۱۴ بار منحنی رطوبتی نمونه های خاک تهیه شد.



شکل ۲: الف) اندازه گیری چگالی ظاهری و ب) نمونه برداری از خاک توسط اگر

ویژگی‌های خاک محل آزمایش

خصوصیات فیزیکی خاک قطعه مورد آزمایش در (جدول ۱) به تفکیک عمق نشان داده شده است. بررسی خاک مزرعه نشان داد که این خاک در عمق ۰ الی ۵۰ سانتی‌متر دارای بافت شنی لومی و در اعماق ۵۰ الی ۷۵ و ۷۵ الی ۱۰۰ سانتی‌متری به ترتیب دارای بافت رسی لومی و لوم می‌باشد. بر اساس نتایج به دست آمده عمق ۵۰ الی ۷۵ سانتی‌متر دارای بیش‌ترین ظرفیت رطوبتی در ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی می‌باشد.

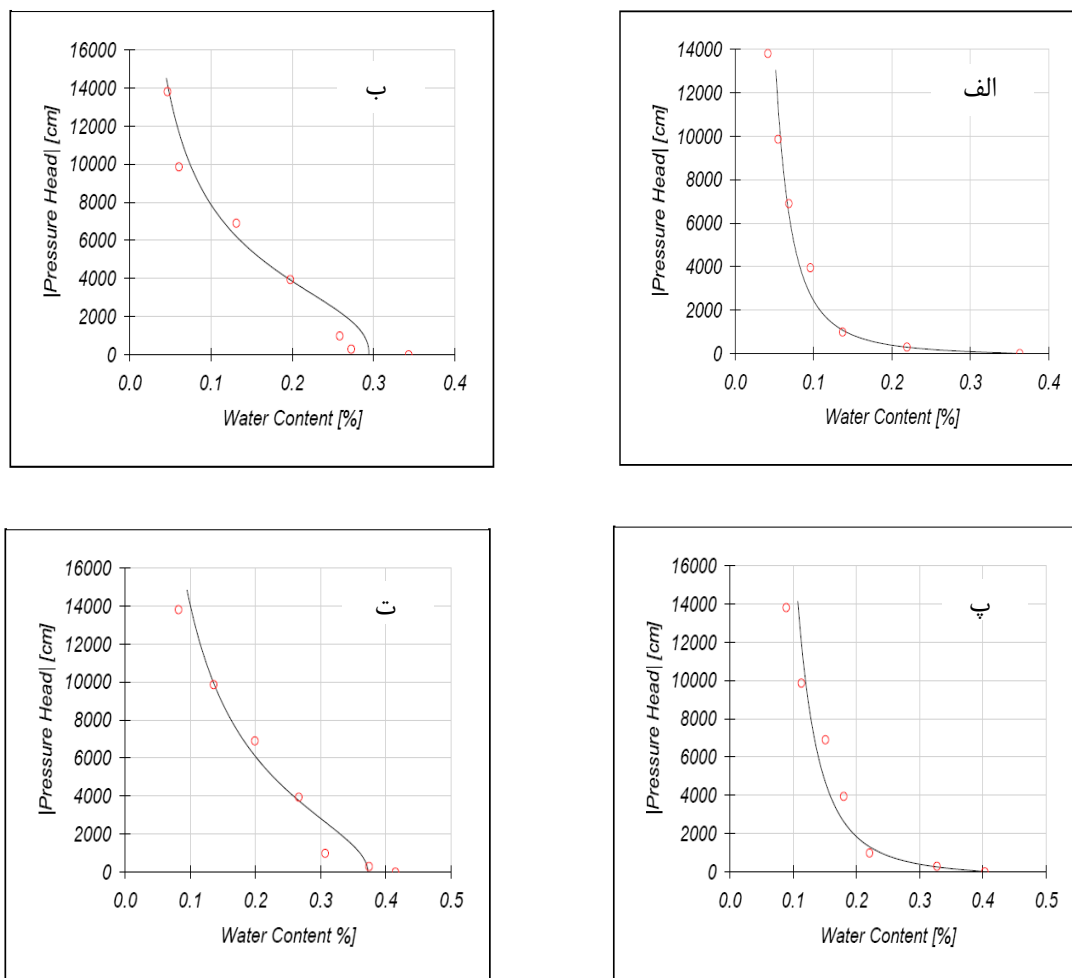
جدول ۱: چگالی ظاهری و حقیقی و درصد رطوبت نمونه‌های خاک مزرعه مورد آزمایش

| عمق | ۲۵-۰ | ۵۰-۲۵ | ۷۵-۵۰ | ۱۰۰-۷۵ |
|------------------------------------|----------|----------|----------|--------|
| چگالی ظاهری (گرم بر سانتی‌مترمکعب) | ۱/۶۴ | ۱/۷۸ | ۱/۷۲ | ۱/۶۹ |
| چگالی حقیقی (گرم بر سانتی‌مترمکعب) | ۲/۸۵ | ۲/۳۳ | ۲/۳۸ | ۲/۵ |
| ظرفیت رطوبتی اشباع (درصد) | ۳۶ | ۳۵ | ۴۰ | ۳۸ |
| ظرفیت زراعی (درصد) | ۲۱ | ۲۱ | ۳۰ | ۲۸ |
| نقطه پژمردگی (درصد) | ۱۲ | ۱۳ | ۱۵ | ۱۴ |
| درصد رس | ۵/۵ | ۵/۳ | ۳۲ | ۲۳/۸ |
| درصد سیلت | ۴۱/۵ | ۴۲/۱ | ۳۷ | ۳۵ |
| درصد شن | ۵۳ | ۵۲/۶ | ۳۱ | ۴۱/۲ |
| بافت خاک | شنی لومی | شنی لومی | رسی لومی | لوم |

برای تعیین روابط هد فشاری و درصد رطوبت ($h-\theta$) ابتدا اطلاعات مربوط به منحنی رطوبتی خاک (که در آزمایشگاه آب دانشگاه فردوسی مشهد تعیین شده بود) و درصد شن، رس و سیلت در چهار عمق مختلف به عنوان ورودی به مدل RETC داده شد و پارامترهای معادله ونگنوختن به عنوان خروجی بدست آمد (جدول ۲). همچنین روابط $h-\theta$ برای چهار عمق خاک مطابق (شکل ۳)، ترسیم شد. بنابراین از این روابط به سادگی می‌توان بر اساس رطوبت‌های اندازه‌گیری شده، پتانسیل ماتریک متناظر با آن‌ها را بدست آورد.

جدول ۲: ضرایب توابع هیدرولیکی خاک در چهار عمق با استفاده از برنامه RETC

| عمق خاک (cm) | θ_r (cm^3/cm^3) | θ_s (cm^3/cm^3) | K_s (cm/day) | α | n | m |
|--------------|----------------------------|----------------------------|----------------|----------|-------|-------|
| ۲۵-۰ | ۰/۰۴۹ | ۰/۳۶۲ | ۱۰/۱/۱ | ۰/۰۱ | ۱/۴۱۵ | ۰/۳۴ |
| ۵۰-۲۵ | ۰/۰۱۷ | ۰/۳۴۱ | ۸۷/۶ | ۰/۰۰۲ | ۱/۴۰۷ | ۰/۲۸۹ |
| ۷۵-۵۰ | ۰/۰۲۸۶ | ۰/۴۰۳ | ۲۲/۹ | ۰/۰۰۴۵ | ۱/۳۷ | ۰/۲۷ |
| ۱۰۰-۷۵ | ۰/۰۰۰۹ | ۰/۴۱۹ | ۲۴/۲۲ | ۰/۰۰۱۹ | ۱/۳۳۲ | ۰/۲۴۹ |



شکل ۳: منحنی رطوبتی برآورد شده توسط صفحات فشاری (نقاط) و نرم افزار RETC (خط) در اعماق با توجه به درصد ذرات تشکیل دهنده خاک و چگالی ظاهری، الف) عمق ۰-۲۵ سانتی‌متر، ب) عمق ۲۵-۵۰ سانتی‌متر، پ) عمق ۵۰-۷۵ سانتی‌متر، و ت) عمق ۷۵-۱۰۰ سانتی‌متر

خصوصیات آب آبیاری

با توجه به اینکه یکی از اهداف این پژوهش بررسی تاثیر شوری آب آبیاری بر کیفیت خاک در اعماق می‌باشد. لذا در این تحقیق از نسبت‌های مختلف سنگ نمک طبیعی و آب چاه با دبی ۳۵ لیتر در ثانیه به منظور ایجاد شوری‌های متفاوت استفاده گردید. خصوصیات کیفی آب مورد استفاده در جدول (۴) نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که تیمار کیفی اول (با توجه به دی‌اکسید ویل کاکس) از نظر شوری در کلاس C_1 ، تیمار دوم در کلاس C_4 و دو تیمار دیگر خارج از کلاس‌های شوری دی‌اکسید ویل کاکس می‌باشند؛ یا به عبارتی می‌توان گفت که کیفیت آب چهار تیمار مورد استفاده در چهار کلاس شوری قرار گرفته است. لذا برای انجام پژوهش مناسب می‌باشند. مقادیر pH آب در تیمارهای مورد استفاده در جدول (۳) نشان داده شده است. همان‌طور که در جدول (۴) نیز مشاهده می‌گردد مقادیر نسبت جذبی سدیم (SAR^1) برای چهار تیمار مورد استفاده

¹ Sodium Adsorption Ratio

نزدیک به هم می‌باشند. به طوری که در سه کلاس S₁، S₂ و S₃ قرار می‌گیرند. البته اگر در دیاگرام ویل کاکس دقت شود ملاحظه می‌گردد که خطوط این دیاگرام برای طبقه‌بندی آب، مورب و رو به پایین است و این نشان می‌دهد که در شوری‌های زیادتر تاثیر منفی سدیم بر کیفیت آب زیاد نمی‌باشد و به عبارتی دیگر اثر سدیم بیش‌تر در شوری‌های کم مشهود است (علیزاده و کمالی، ۱۳۸۷) و چون در این پژوهش از آب‌های نسبتاً شور استفاده شده است، لذا استفاده از این آب‌ها با SARهای مختلف مشکلی بوجود نمی‌آورد.

جدول ۳: تجزیه شیمیایی تیمارهای آب مورد استفاده

| SAR | کاتیون‌ها (meq/L) | | | | | آنیون‌ها (meq/L) | | | | pH | EC (dS/m) |
|-------------------------------|-------------------|------------------|------------------|----------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------|------------------------------|-----|------|-----------|
| | Na ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | K ⁺ | CO ₃ ⁻ | HCO ₃ ⁻ | Cl ⁻ | So ₄ ⁻ | | | |
| C ₁ S ₁ | ۱/۴ | ۱/۷ | ۲ | ۰/۸ | ۰/۰۵ | ۰ | ۲/۸ | ۱/۲ | ۰/۵ | ۷/۷۳ | ۰/۵ |
| C ₄ S ₂ | ۸/۱ | ۲۵/۴ | ۱۴/۳ | ۵ | ۰/۴ | ۰/۲ | ۸/۳ | ۲۵/۶ | ۱۱ | ۷/۸ | ۵ |
| C ₄ S ₃ | ۱۰/۴۸ | ۴۶/۷ | ۲۷/۶ | ۱۲/۱ | ۰/۶۴ | ۰/۲ | ۱۱/۵ | ۴۸/۴ | ۲۷ | ۷/۷۷ | ۸ |
| C ₄ S ₃ | ۱۰/۴۵ | ۵۵/۲ | ۳۶/۳ | ۱۹/۴ | ۰/۹ | ۰/۳ | ۱۵/۳ | ۶۳ | ۳۳ | ۷/۷۴ | ۱۱ |

سطوح شوری آب آبیاری

با توجه به اعمال شوری‌های بالا در این تحقیق و هزینه‌های زیاد حمل آب شور به محل آزمایش، برای تامین شوری‌های متفاوت، از مخلوط کردن درصدهای مختلف سنگ نمک با آب چاه با شوری ۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر استفاده شد. بر این اساس تیمارهای آبیاری شامل: آبیاری با آب شیرین (شوری ۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر)، S₁، آبیاری با آب با شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر (S₂)، آبیاری با آب با شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر (S₃) و آبیاری با آب با شوری ۱۱ دسی‌زیمنس بر متر (S₄) بود.

سطوح مختلف آبیاری

برای اعمال فاکتورهای کمی آب از شاخص رطوبت خاک (علیزاده، ۱۳۸۳) استفاده شد. بدین ترتیب که با قراردادن بلوک گچی (قرائت بلوک توسط دستگاه ELE مدل 5910A صورت گرفت) در تیمار آبیاری کامل و شوری ۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر در عمق توسعه ریشه گیاه (در سه عمق ۰-۳۰، ۳۰-۶۰، ۶۰-۹۰ سانتی متر عمق خاک، در روزهای قبل از آبیاری اقدام به اندازه‌گیری درصد رطوبت خاک کرده و زمانی که میانگین وزنی رطوبت حجمی خاک به حد تخلیه مجاز برای کلزا (۰/۵) (قدمی، ۱۳۸۹) رسید با معیار تامین نیاز آبی گیاه به میزان ۱۰۰ درصد اقدام به آبیاری بعدی شد. بنابراین برای اعمال رژیم‌های مختلف آب، بر اساس کمبود رطوبت خاک و با معیار قرار دادن تیمار بدون تنش آبی و اعمال ضرایب هر تیمار از رابطه زیر استفاده گردید:

$$SMD = (W_{fc} - W_i) A_s . D . C$$

رابطه ۱

در رابطه فوق SMD کمبود رطوبت خاک (میلی‌متر)، W_i و W_{fc} به ترتیب درصد وزنی رطوبت در ظرفیت زراعی و موجود در خاک در تیمار شاهد، A_s وزن مخصوص ظاهری خاک (g/cm^3)، D عمق توسعه ریشه (mm) و C ضرایب مربوط به هر تیمار بر حسب اعشار می‌باشد که در این تحقیق تیمارهای عمق آب آبیاری معادل ۰/۵، ۰/۷۵، ۱ و ۱/۲۵ لحاظ شد. از این رو مقدار عمق آب آبیاری در تیمارهای مورد نظر برابر با کمبود رطوبت خاک (SMD) در نظر گرفته خواهد شد. باید اشاره داشت که برای اعمال تغییرات عمق توسعه ریشه نسبت به زمان، طول دوره رشد به سه بازه زمانی تقسیم شد. به دلیل عدم وجود رابطه‌ای جهت مدل نمودن تغییرات عمق توسعه ریشه در تیمارهای کمی و کیفی آب آبیاری، برای اعمال رابطه ۱ این تغییرات لحاظ نگردید. تغییرات رطوبت خاک از تفاوت رطوبت در ابتدا و انتهای دوره اندازه‌گیری در پروفیل خاک محاسبه گردید. در ادامه باید اشاره داشت که به دلیل شرایط متفاوت کمیت و کیفیت آب در سایر تیمارها تغییرات رطوبت نیز در خاک متفاوت است. لذا برای اعمال تیمارهای کمی آب به دلیل نبود رواناب، نفوذ عمقی و غیره فرض شد که تمام آب داده شده به هر کرت صرف تبخیر و تعرق می‌گردد. ضمن اینکه برای سنجش رطوبت خاک در هر تیمار نمونه‌برداری‌های در ۵۶، ۷۱، ۸۷، ۱۰۲ و ۱۱۸ روز بعد از کشت یعنی در اول و ۱۵ اردیبهشت، اول، پانزدهم و انتهای خرداد انجام شد و مقدار رطوبت و شوری در این اعماق محاسبه گردید.

پیش‌بینی شوری خاک

مدل هافمن و ونگنوختن ۱۹۸۳

در شرایط ماندگار، در یک غلظت مشخص از آب آبیاری، توزیع متفاوت در جذب آب سبب توزیع متفاوت شوری در خاک می‌شود. بر این اساس، پاره‌ای روابط برای بیان ارتباط بین شوری آب و نیاز آب‌شویی با میانگین شوری خاک برای توابع مختلف جذب آب توسعه یافته‌اند. Hoffman و Van Genuchten (۱۹۸۳) میانگین خطی متوسط شوری خاک منطقه ریشه را به وسیله حل معادله پیوستگی برای جریان یک‌بعدی و رو به پایین آب در خاک، برآورد نمودند. معادلات بر اساس سه تابع جذب آب، نمایی (رابطه ۲)، دوزنقه‌ای (رابطه ۳) و الگوی جذب ۴۰-۳۰-۲۰-۱۰ درصد (رابطه ۴) ارائه شدند.

$$\frac{C_1}{C_l} = \frac{1}{L} + \frac{\theta}{ZL} \ln \left[L + (1-L) \exp\left(\frac{-Z}{\theta}\right) \right] \quad \text{رابطه ۲}$$

$$\frac{C_1}{C_l} = \frac{1}{5L} - \frac{1}{2-2L} \ln(0.06 - 0.4L) + \frac{\tan^{-1} \left[\frac{3(1-L)}{5L} \right]^{0.5}}{\left[5L(1-\frac{L}{3}) \right]^{0.5}} \quad \text{رابطه ۳}$$

$$\frac{C_1}{C_l} = \frac{1}{1-L} [\tan^{-1}(9\alpha) - \tan^{-1}(\alpha)] \quad , \quad \alpha = \left[\frac{1-L}{81L-1} \right]^{0.5} \quad \text{رابطه ۴}$$

در روابط فوق: C_1 = شوری خاک بر اساس مدل‌های فوق، C_l = شوری آب آبیاری، θ = ضریب تجربی برابر $\theta = 0.2Z$ ، Z عمق خاک و L درصد آب‌شویی است. پیش‌بینی شوری خاک در این مدل‌ها (معادلات ۲ تا ۴)، برای کل منطقه ریشه انجام می‌شود. این

مدل‌ها اگرچه الگوهای مختلف جذب آب را در محاسبه شوری در نظر می‌گیرند، اما واکنش‌های شیمیایی منطقه ریشه در محاسبات در نظر گرفته نمی‌شود. مدل‌های ماندگار غلظت نمک‌های خاک را در شرایط استفاده مداوم از یک منبع آب منفرد پیش‌بینی می‌نمایند. درحالی‌که وقایع بارندگی یا استفاده از چندین منبع آب با کیفیت‌های مختلف، غلظت نمک‌های خاک را تغییر می‌دهد. بارندگی حتی اگر خارج از فصل رشد نیز رخ دهد اثر سوء آبیاری با آب شور را کاهش می‌دهد. بنابراین در صورت وقوع بارندگی در منطقه، بایستی از داده‌های تصحیح شده استفاده نمود. در منطقه مورد مطالعه میزان بارندگی برابر ۲۰۶ میلی‌متر در سال بود. از این‌رو و به‌منظور تخمین سهم بارندگی در کاهش اثر آبیاری با آب شور، از میانگین‌گیری وزنی از شوری آب آبیاری و بارندگی (رابطه ۵) استفاده گردید (Richards, 1954; Meiri and Shalhevet, 1973; Ayars et al., 2012; Letey and Feng, 2007).

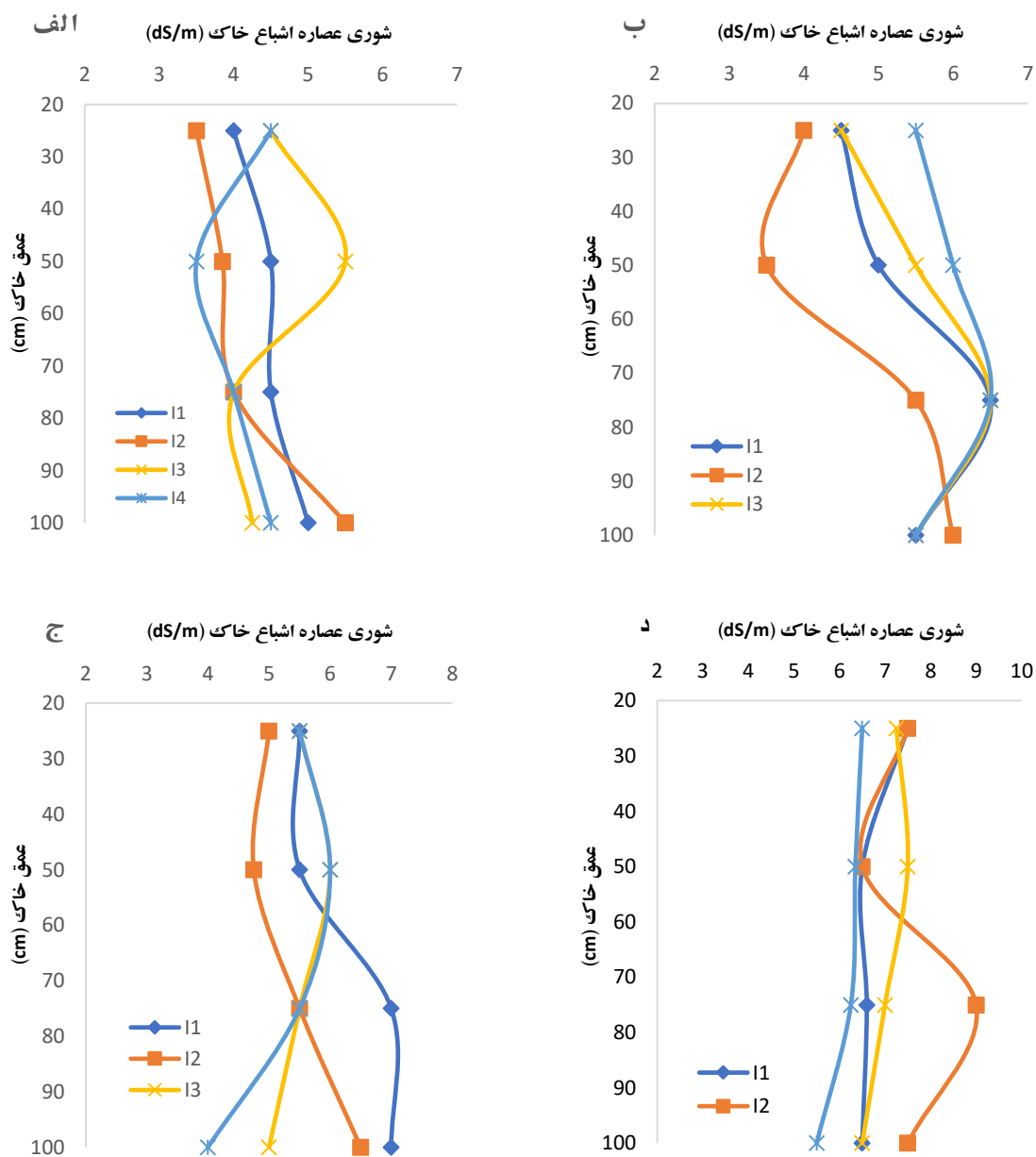
$$EC_a = \frac{(EC_{iw} \times D_{iw}) + (EC_r \times D_r)}{(D_{iw} + D_r)} \quad \text{رابطه ۵}$$

در رابطه فوق EC_a میانگین وزنی شوری آب آبیاری یا شوری تصحیح شده آب، EC_{iw} و EC_r به ترتیب شوری آب آبیاری و باران بر حسب دسی‌زیمنس بر متر، D_{iw} و D_r به ترتیب عمق آبیاری و باران موثر (میلی‌متر در سال) است. مدل‌های مورد مطالعه (روابط ۲ الی ۴)، شوری محلول خاک را محاسبه می‌نماید. جهت تبدیل شوری محلول خاک به شوری عصاره اشباع از نسبت رطوبت اشباع خاک به رطوبت خاک در ظرفیت مزرعه (θ_{SP}/θ_{FC}) استفاده گردید.

نتایج و بحث

مقادیر میانگین شوری عصاره اشباع خاک در ۵۶ روز بعد از کشت به تفکیک تیمار مورد بررسی و اعماق مختلف خاک در شکل (۴) آورده شده است. روند تغییرات شوری در عمق‌های ۰-۲۵، ۲۵-۵۰، ۵۰-۷۵ و ۷۵-۱۰۰ سانتی‌متر در شوری‌های S_1 ، S_2 و S_3 در تیمارهای I_1 و I_2 تقریباً یکسان می‌باشد. همان‌طور که مشخص است در تیمار I_2 به‌دلیل آب‌شویی املاح (در ابتدا برای انجام آزمایش فرضی در نظر گرفته شد که در ادامه نشان داده شد که چنانچه مقدار ۱۰۰ نیاز آبی گیاه درست محاسبه شده باشد در تیمار I_2 بیش آبیاری اتفاق خواهد افتاد. به‌طوری‌که در این تیمار مقدار آب بیش از نیاز آبی صرف نفوذ عمقی گردیده است. به‌عبارت دیگر وجود تیمار I_2 در تحقیق به کنترل صحت تعیین نیاز آبی در تیمار I_1 کمک نموده است. مقدار شوری خاک در عمق ۵۰-۲۵ سانتی‌متر کمتر از سایر اعماق می‌باشد و در اغلب موارد شوری در عمق ۷۵-۱۰۰ سانتی‌متر بیشتر از سایر اعماق و یا حتی سایر تیمارها می‌باشد. همان‌طور که مشخص است در تیمارهای کم آبیاری مقدار شوری عصاره اشباع در اعماق بیش از ۷۵ سانتی‌متر نسبت به اعماق کمتر از ۷۵ سانتی‌متر کمتر می‌باشد. طبیعی است زیرا به‌دلیل آبیاری کم، عملاً مقدار کمی آب به اعماق بیش از ۷۵ سانتی‌متر رسیده است. ضمن اینکه آبیاری باعث شسته شدن بخشی از املاح در لایه‌های بالایی و انتقال آن‌ها به عمق ۷۵-۵۰ سانتی‌متر می‌شود. به‌عبارت دیگر شوری عصاره اشباع خاک تابع حجم آب آبیاری و شوری

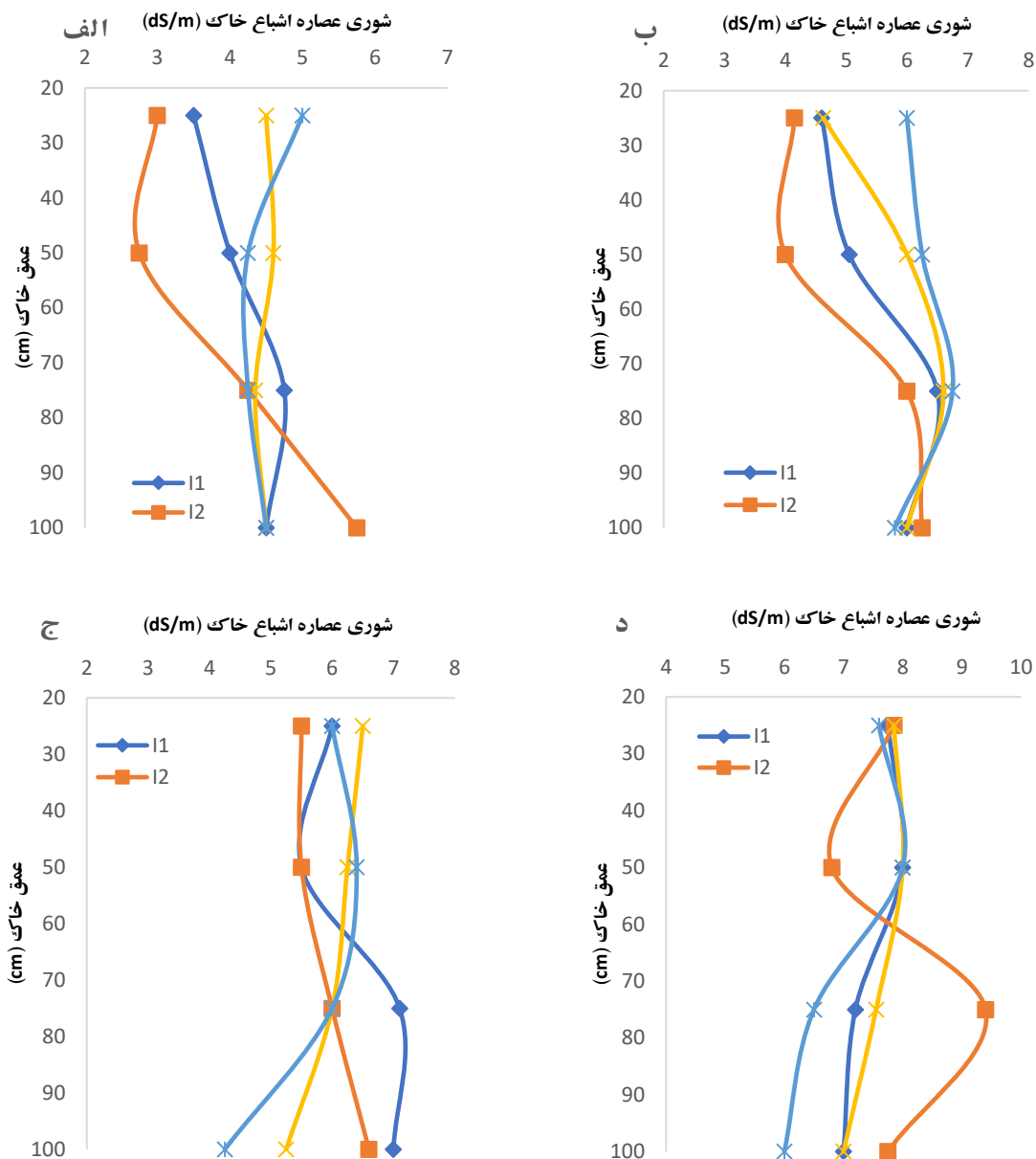
آن می‌باشد. در شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر مقدار شوری عصاره اشباع خاک در اعماق ۷۵-۵۰ سانتی‌متر در تیمارهای I₁، I₃ و I₄ تقریباً یکسان است.



شکل ۴: تغییرات شوری در اعماق مختلف خاک در تیمارهای مختلف آبیاری در ۵۶ روز بعد از کشت، (الف) در تیمار S₁، (ب) تیمار S₂ (ج) تیمار S₃ و (د) تیمار S₄

مقادیر شوری عصاره اشباع خاک بعد از ۷۱ روز از کشت در شکل (۵) نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد EC عصاره اشباع خاک در اعماق ۵۰-۰ سانتی‌متر در تیمار I₂ کمتر از سایر تیمارها است و در مقابل EC عصاره اشباع خاک در اعماق بیش از ۵۰ سانتی‌متر در تیمار I₂ بیشتر می‌باشد. به عبارت دیگر ۲۵ درصد اعمال عمق آب‌شویی توانایی کافی برای کاهش EC در تمام اعماق خاک را ندارد و شستشوی املاح در اعماق بالایی و انتقال آن‌ها به اعماق پایین باعث افزایش شوری در این اعماق

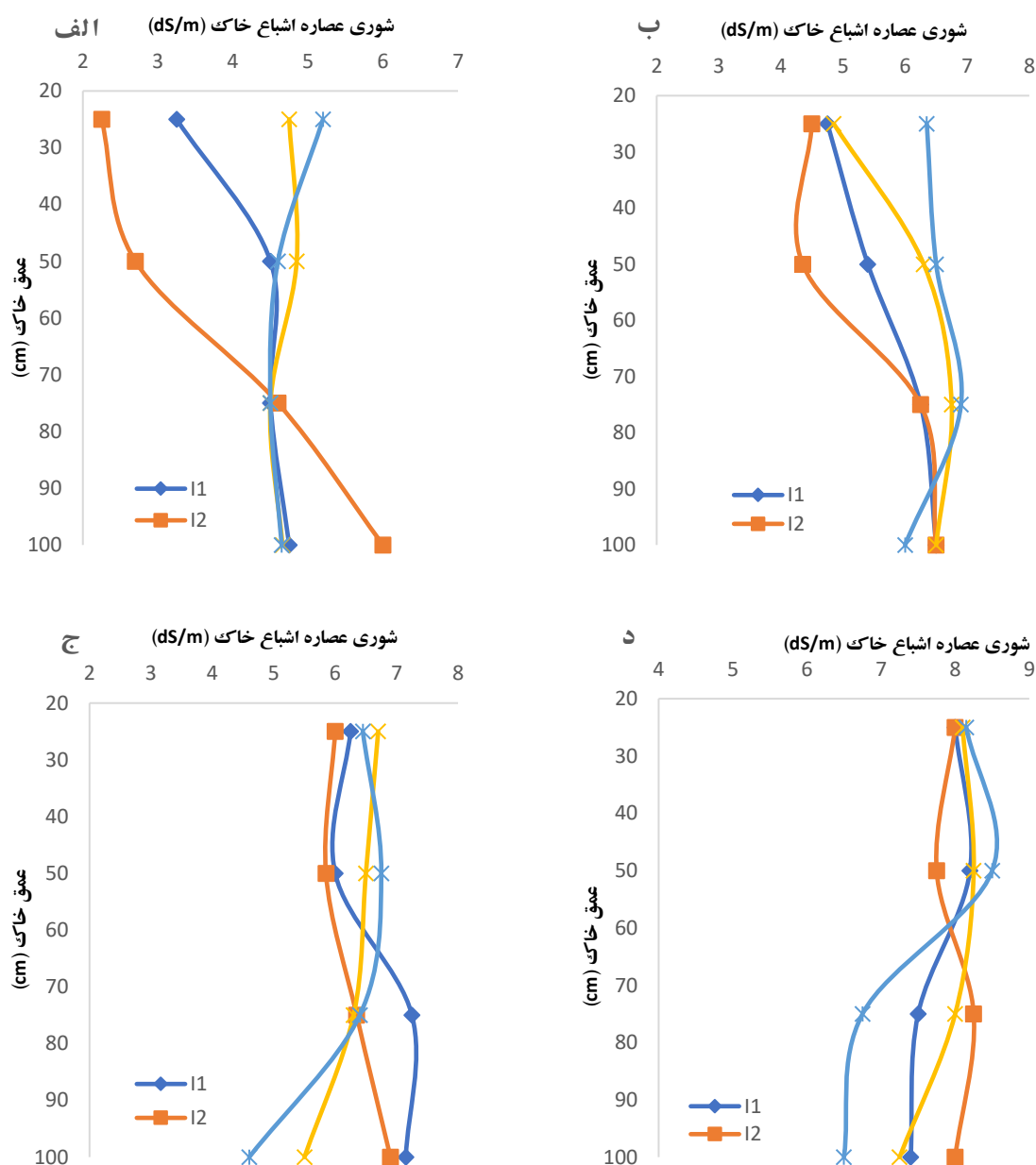
می‌شود. احتمالاً همین میانگین بالای شوری در اعماق ۵۰-۱۰۰ سانتی‌متر نسبت به تیمار I₁ باعث کاهش جزئی در عملکرد در این تیمار شده است. همچنین نتایج نشان داد در لایه سطحی خاک EC عصاره اشباع در تیمارهای بیش‌آبیاری و آبیاری کامل (I₁ و I₂) در شوری‌های ۵، ۸ و ۱۱ دسی‌زیمنس بر متر کمتر از شوری آب آبیاری است. دلیل این امر بارش باران و آب‌شویی املاح در لایه‌های سطحی خاک و کاهش EC عصاره اشباع خاک در سطح بالایی خاک شده است.



شکل ۵: تغییرات شوری در اعماق مختلف خاک در تیمارهای مختلف آبیاری در ۷۱ روز بعد از کشت، الف) در تیمار S₁، ب) تیمار S₂، ج) تیمار S₃ و د) تیمار S₄

شوری عصاره اشباع خاک در ۸۷ روز بعد از کشت کلزا در شکل (۶) به تفکیک شوری آب آبیاری نشان داده شده است. نتایج شوری در اعماق مختلف خاک در این تاریخ نیز همانند تاریخ قبلی نمونه‌برداری می‌باشد. البته کمی افزایش در شوری عصاره

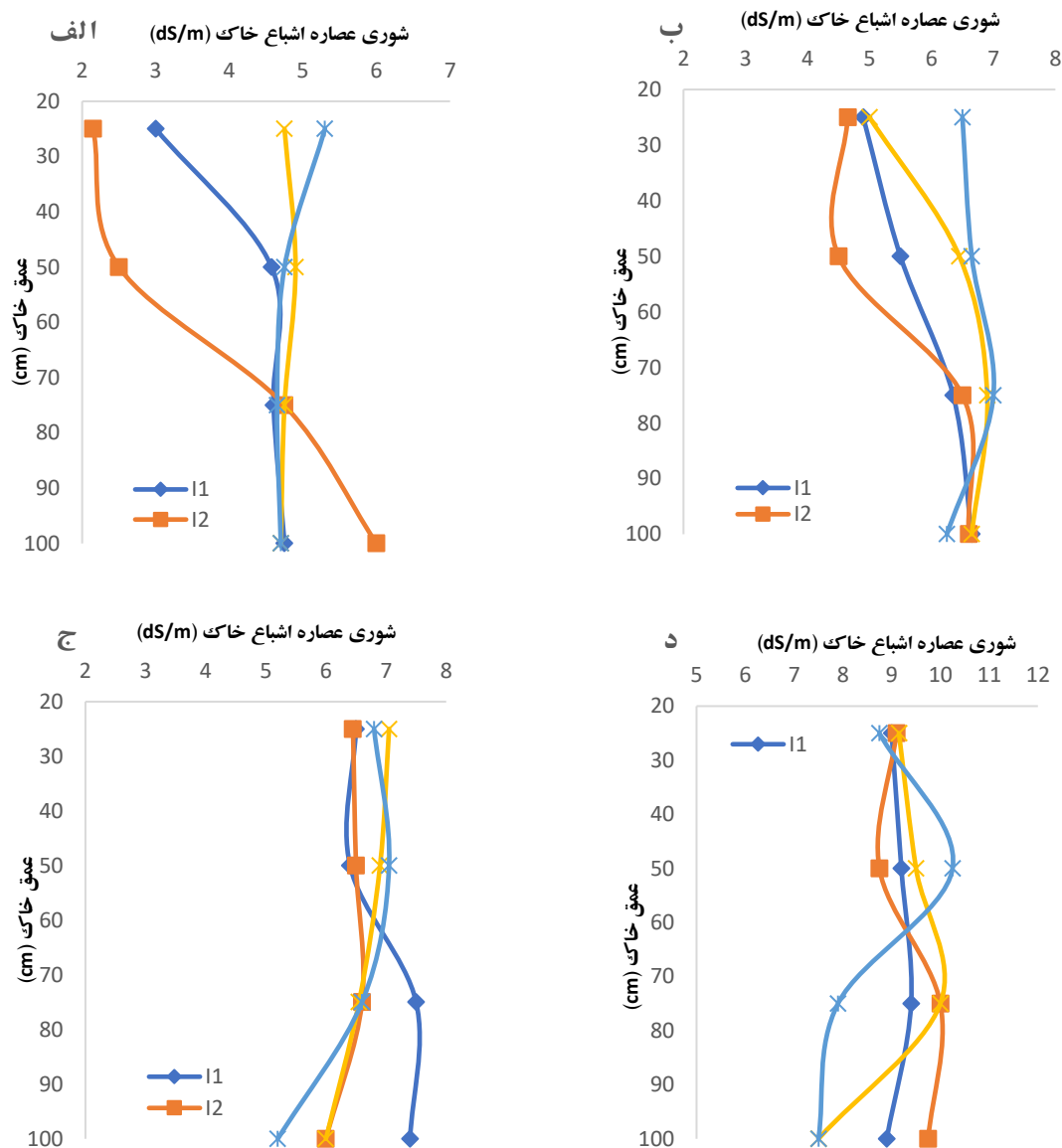
اشباع خاک نسبت به تاریخ قبلی وجود دارد. لازم به ذکر است که این نمودارها بعد از دو بار آبیاری نسبت به نمودار ۸ رسم شده‌اند. این بدان معنی است که اعمال ۲ بار آبیاری با شوری S_4 باعث افزایش شوری در اعماق ۵۰-۷۵ سانتی‌متر در تیمارهای I_1 ، I_3 و I_4 به ترتیب به میزان ۰/۳، ۰/۴۵ و ۰/۲۵ دسی‌زیمنس بر متر افزایش یافته است. همچنین باید اشاره داشت که در تیمار I_2 مقدار شوری در عمق ۵۰-۷۵ سانتی‌متر به میزان ۱/۱۵ دسی‌زیمنس بر متر کاهش یافته است.



شکل ۶: تغییرات شوری در اعماق مختلف خاک در تیمارهای مختلف آبیاری در ۸۷ روز بعد از کشت، الف) در تیمار S_1 ، ب) تیمار S_2 ج) تیمار S_3 و د) تیمار S_4

. بر اساس نتایج بدست آمده بیشترین مقدار شوری عصاره اشباع خاک در عمق ۷۵-۱۰۰ سانتی‌متری در تیمارهای I_1 و I_2 مشاهده می‌گردد و البته باید اشاره داشت که در شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر مقدار هدایت الکتریکی عصاره اشباع در عمق ۷۵-

۱۰۰ سانتی‌متر در تیمارهای آبیاری I₁، I₂ و I₃ تقریباً با هم برابر هستند. در تمام شوری‌های آب آبیاری، کم‌ترین مقدار شوری عصاره اشباع در عمق ۷۵-۱۰۰ سانتی‌متر در تیمار I₄ مشاهده گردید. دلیل این امر را می‌توان به تاثیر بیش‌تر پتانسیل ماتریک نسبت به نیروی ثقل (توزیع رطوبت به دلیل نیروی ماتریک بیش‌تر افقی بوده تا عمودی) مربوط دانست. در این شرایط عمق کم آبیاری به اعماق پایین توسعه ریشه گیاه نخواهد رسید. لذا تجمع املاح در این اعماق کم‌تر است. بر اساس نتایج شکل (۷) شوری در سطح خاک در تیمارهای I₁ و I₂ در هر چهار سطح شوری آب آبیاری کم‌تر از دو تیمار I₃ و I₄ می‌باشند.



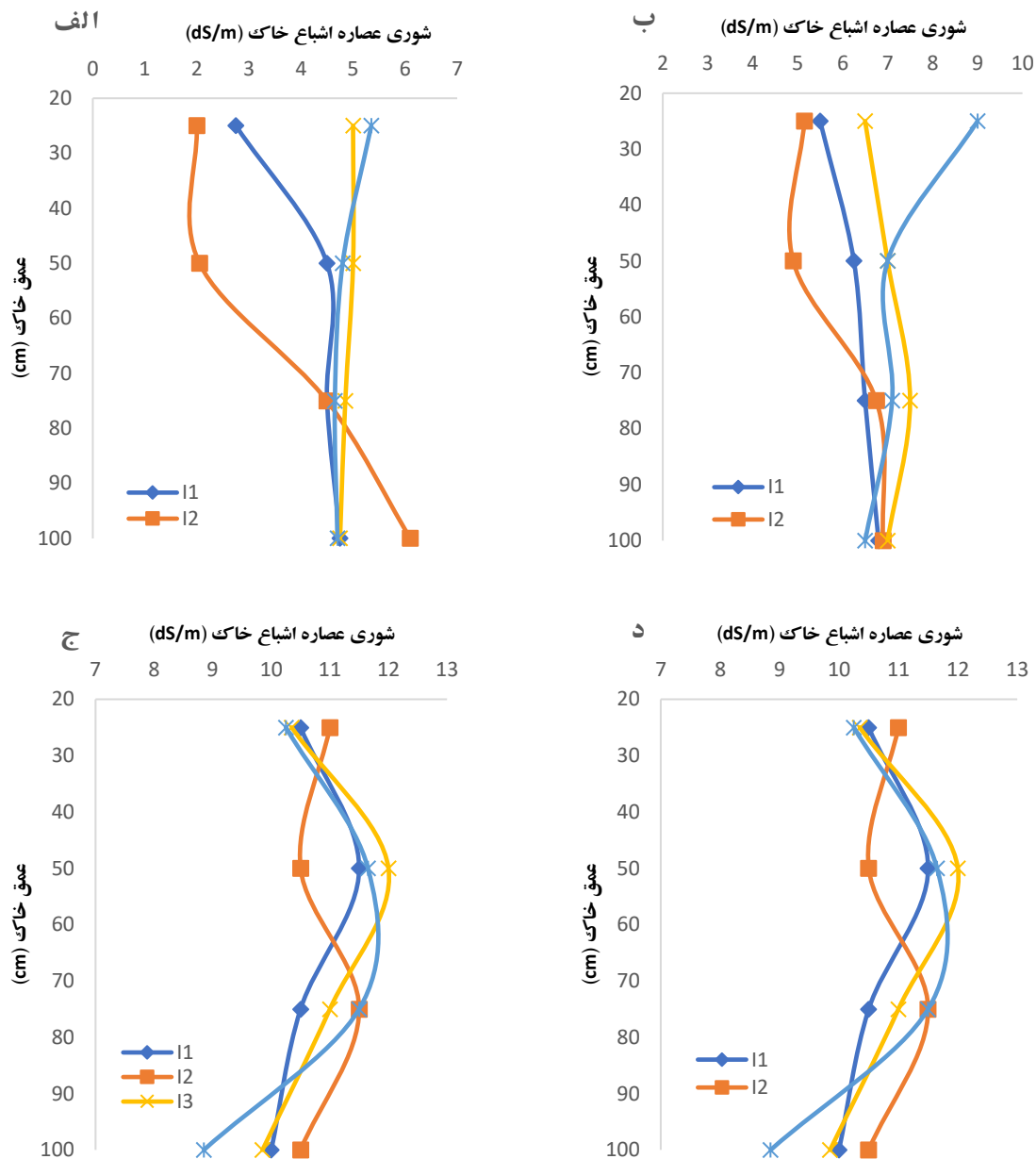
شکل ۷: تغییرات شوری در اعماق مختلف خاک در تیمارهای مختلف آبیاری در ۱۰۲ روز بعد از کشت، الف) در تیمار S1، ب) تیمار S2، ج) تیمار S3 و د) تیمار S4

افزایش عمق آب آبیاری و یا آبیاری کامل باعث شستشو املاح لایه سطحی خاک شده و در این حالت شوری لایه سطحی خاک با شوری آب آبیاری به تعادل خواهد رسید. در اغلب موارد شوری عصاره اشباع خاک در عمق ۵۰-۲۵ سانتی‌متر در تیمار I₄ بیش‌تر از سایر تیمارهای آبیاری می‌باشد.

با توجه به الگوی جذب آب توسط ریشه کلزا، اعمال ۵۰ درصد کم‌آبیاری به همراه شوری آب آبیاری باعث تشدید تنش‌های اسمزی و ماتریک در منطقه‌ای که بیش‌ترین جذب آب در آن صورت می‌گیرد، می‌شود. همین شرایط باعث کاهش شدید عملکرد کلزا گردیده است. نتایج نشان داد که مقدار شوری اعماق خاک در تیمار I₂ در تاریخ ۳/۱۵ کاهش یافته است. چنین نتیجه‌ای در تاریخ‌های قبلی نمونه‌برداری نیز مشخص بوده است. این کاهش در اعماق ۷۵-۰ سانتی‌متر مشهود است. لازم به ذکر است که در عمق ۱۰۰ سانتی‌متر در اغلب موارد با افزایش شوری همراه بوده است. نتایج بیانگر افزایش شوری عصاره اشباع خاک در اعماق مختلف و در تیمارهای مختلف آبیاری در سطح شوری S₄ می‌باشد. این افزایش در شوری‌های S₂ و S₃ نیز قابل مشاهده است. البته باید اشاره داشت که مقدار افزایش‌ها در شوری عصاره اشباع خاک با افزایش شوری آب آبیاری افزایش می‌یابد.

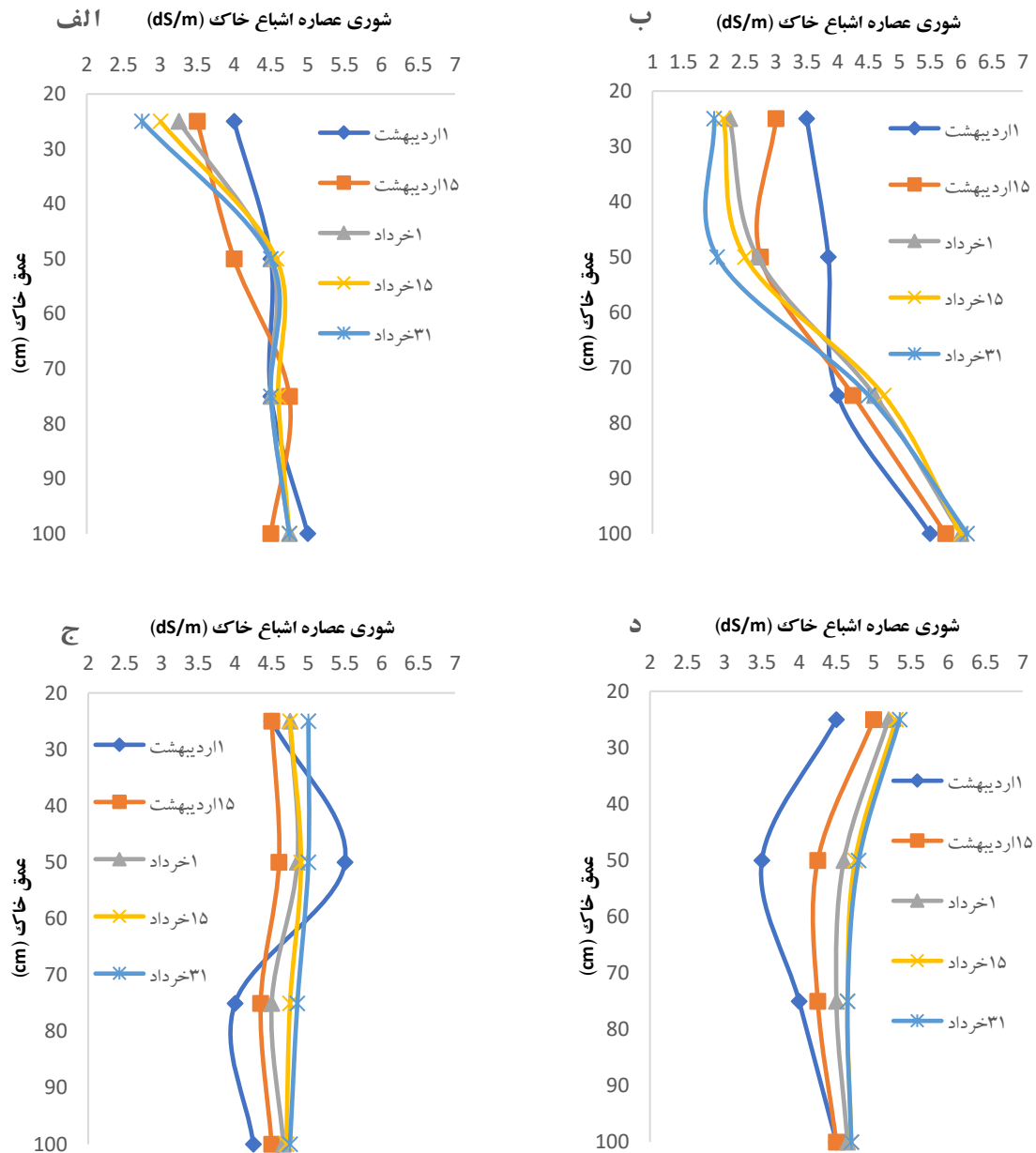
مقدار شوری در تاریخ ۳۱ خرداد در کلیه تیمارهای آبیاری در شوری S₄ یعنی شوری ۱۱ دسی‌زیمنس بر متر بیش‌تر از تاریخ قبلی نمونه‌برداری می‌باشد. به‌طوری‌که مقدار افزایش شوری خاک در عمق‌های ۲۵-۰، ۵۰-۲۵، ۷۵-۵۰ و ۱۰۰-۷۵ سانتی‌متر به ترتیب در تیمارهای I₁ (۱/۵، ۲/۳، ۱/۱ و ۱/۱ دسی‌زیمنس بر متر)، I₂ (۱/۹، ۱/۷۵، ۱/۵ و ۰/۷۵ دسی‌زیمنس بر متر)، I₃ (۱/۲، ۲/۵، ۱ و ۲/۳۵ دسی‌زیمنس بر متر) و I₄ (۱/۳۵، ۳/۶، ۱/۴ و ۱/۵۱ دسی‌زیمنس بر متر) بوده است. در بررسی همین موارد در شوری S₁ یعنی تیمار شاهد شوری مشخص گردید در تیمارهای I₁ و I₂ مقدار شوری نه تنها افزایش نداشته است، بلکه شوری خاک کاهش یافته است. دلیل این امر آب‌شویی و آبیاری با آب شیرین می‌باشد. مقدار افزایش شوری در تیمارهای I₃ و I₄ در این شوری نیز بسیار ناچیز است. در شوری‌های S₂ و S₃ یعنی ۵ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر همانند شوری ۱۱ دسی‌زیمنس بر متر مقدار شوری خاک در کلیه اعماق و تیمارهای آبیاری نسبت به قبل افزایش داشته است.

برای ایجاد مقایسه بهتر نتایج، مقادیر شوری‌های عصاره اشباع خاک در اعماق مختلف آن و در تاریخ‌های متفاوت کشت در شکل‌های ۹ الی ۱۲ به تفکیک تیمار اعمال شده نشان داده شده است. با افزایش زمان بعد از کاشت و اعمال تیمارهای مختلف آبیاری، مقدار شوری عصاره اشباع خاک در اعماق مختلف خاک افزایش می‌یابد. در ۳ تاریخ اولیه مقدار تفاوت در EC عصاره اشباع خاک خیلی زیاد نیست و در تاریخ ۴ و ۵ نمونه‌برداری (یعنی ۱۰۲ و ۱۱۸ روز بعد از کشت کلزا) مقدار تفاوت‌ها بیش‌تر می‌شود. دلیل تفاوت کم در تاریخ‌های ۵۶، ۷۱ و ۸۷ روز بعد از کشت کلزا را می‌توان به وجود بارش در این مدت نسبت داد.

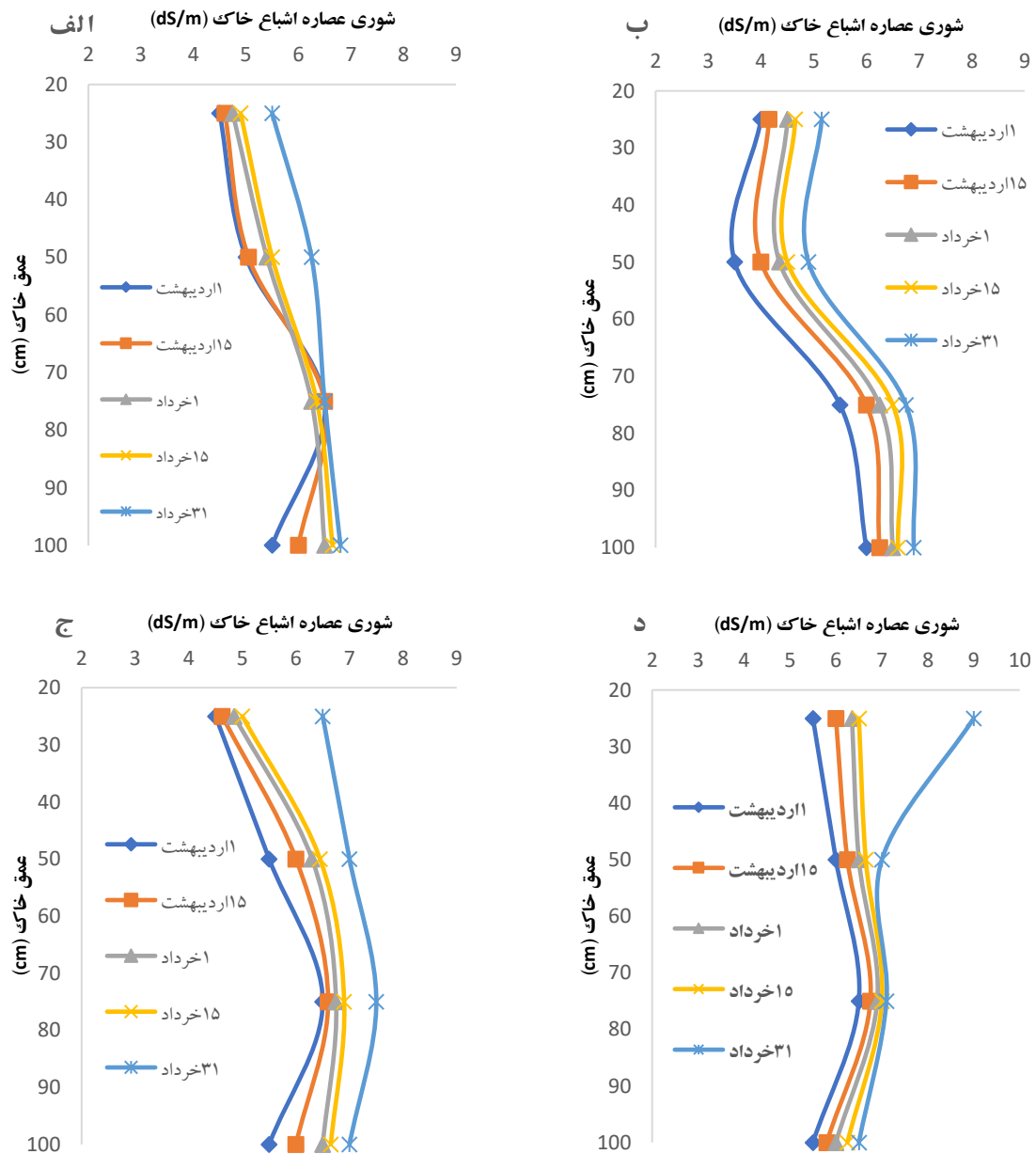


شکل ۸: تغییرات شوری در اعماق مختلف خاک در تیمارهای مختلف آبیاری در ۱۱۸ روز بعد از کشت، الف) در تیمار S1، ب) تیمار S2 ج) تیمار S3 و د) تیمار S4

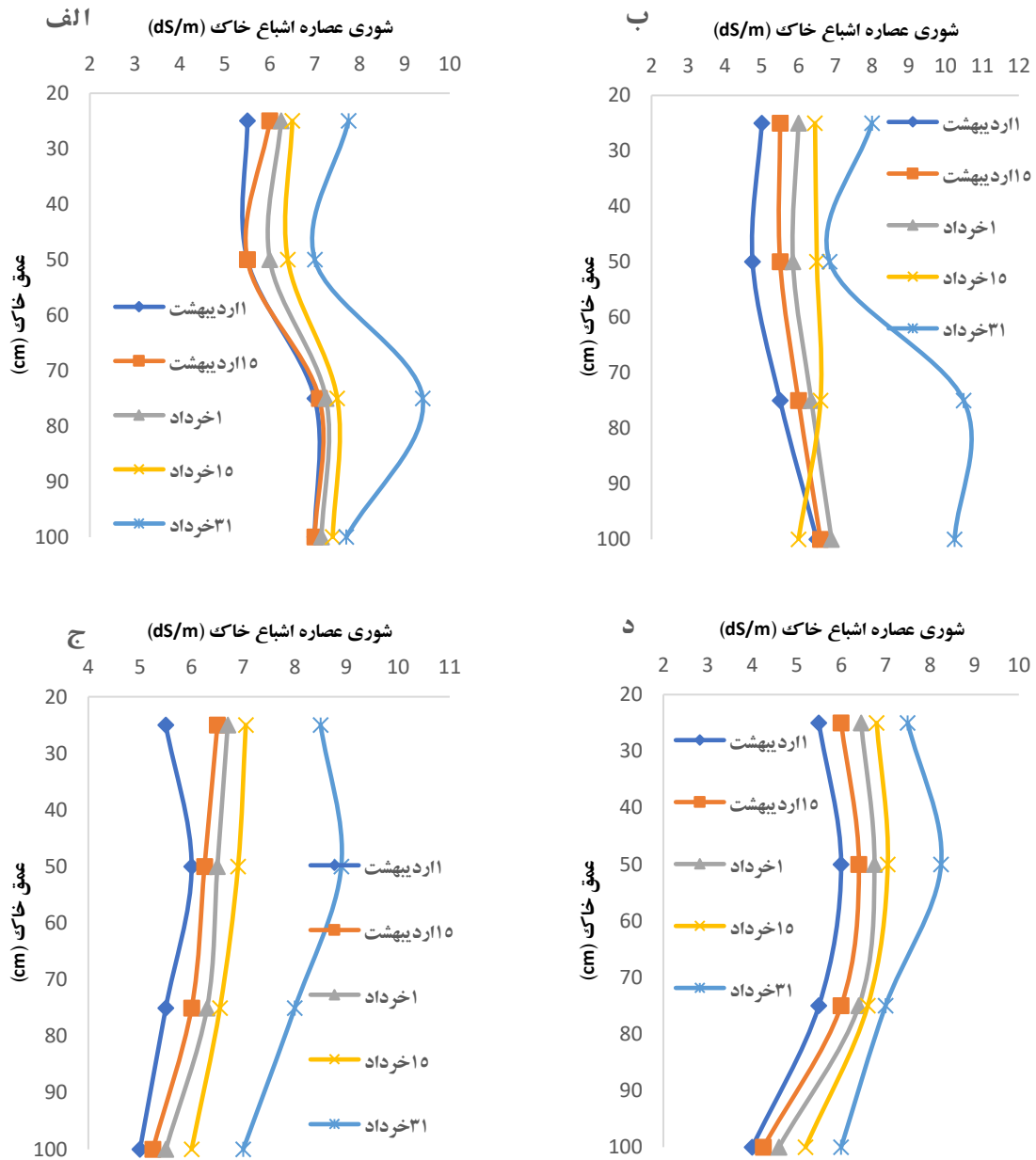
در ۷۱ روز بعد از کشت کلزا مقدار EC عصاره اشباع در اغلب تیمارها کاهش داشته است که دلیل آن وقوع بارش در بازه اول الی ۱۵ خرداد می باشد، که باعث آب شویی املاح شده و EC عصاره اشباع خاک کاهش یافته است. البته باید اشاره داشت که در تیمار I4 چنین روندی مشاهده نمی گردد. زیرا کم آبیاری شدید در این تیمار باعث تجمع املاح در سطح خاک شده است که بارشها تنها سطح خاک را آب شویی نموده و املاح را به اعماق پایین تر منتقل کرده است. افزایش زمان و اعمال تیمارهای کم آبی و شوری باعث افزایش پتانسیل اسمزی و ماتریک در اعماق مختلف خاک می شود. لذا اعمال اعماق مختلف آب شویی بر اساس برنامه زمان بندی مناسب بسیار مهم و ضروری است.



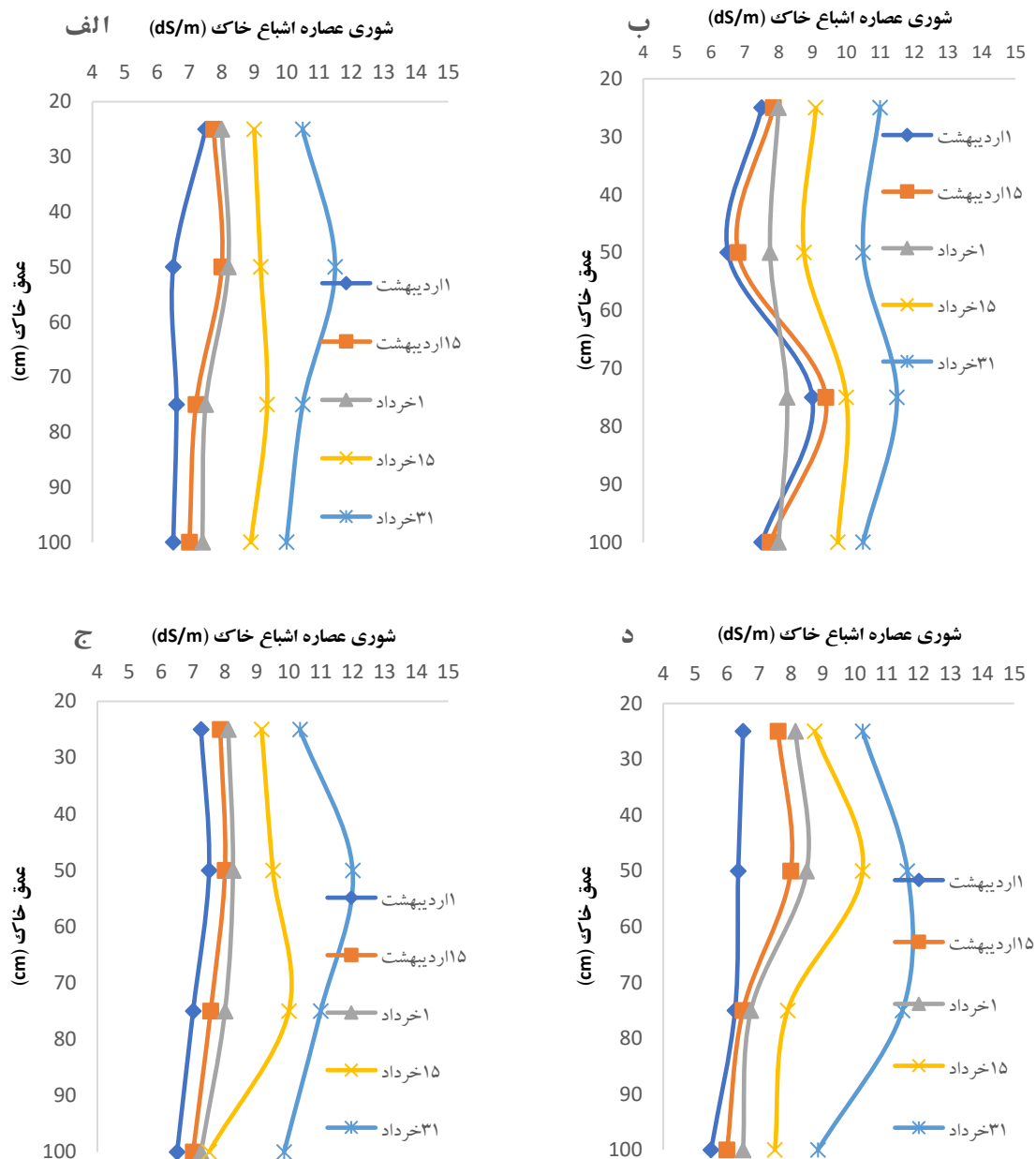
شکل ۹: توزیع زمانی شوری در اعماق مختلف خاک به تفکیک تیمار آبیاری در شوری ۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر، الف) در تیمار S1، ب) تیمار S2، ج) تیمار S4 و د) تیمار S4



شکل ۱۰: توزیع زمانی شوری در اعماق مختلف خاک به تفکیک تیمار آبیاری در شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر، الف) در تیمار I1، ب) تیمار I2 ج) تیمار I3 و د) تیمار I4



شکل ۱۱: توزیع زمانی شوری در اعماق مختلف خاک به تفکیک تیمار آبیاری در شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر، الف) در تیمار I1، ب) تیمار I2، ج) تیمار I3 و د) تیمار I4



شکل ۱۲: توزیع زمانی شوری در اعماق مختلف خاک به تفکیک تیمار آبیاری در شوری ۱۱ دسی‌زیمنس بر متر، الف) در تیمار I1، ب) تیمار I2، ج) تیمار I3 و د) تیمار I4

پیش‌بینی شوری خاک

مقادیر شوری عصاره اشباع خاک اندازه‌گیری شده در انتهای فصل رشد و همچنین مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل هافمن ونگنوختن (روابط ۳ الی ۵) در جدول (۴) نشان داده شده است. در ابتدا باید اشاره داشت که مقادیر شوری آب آبیاری بر اساس مقدار بارش، مقدار آبیاری و شوری اولیه آب آبیاری (۵/۰، ۵، ۸ و ۱۱ دسی‌زیمنس بر متر) و همچنین لحاظ کردن شوری آب باران (۱/۰ دسی‌زیمنس بر متر) محاسبه گردیده است. نتایج نشان داد که مدل ذوزنقه‌ای (رابطه ۳) قادر به پیش‌بینی شوری

عصاره اشباع خاک نمی‌باشد. همان‌طور که در جدول (۵) نیز مشخص است این روش شوری عصاره اشباع خاک را بسیار بیش‌تر از واقعیت برآورد می‌کند و نتایج آن تنها در شوری ۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر تاحدودی قابل قبول است. رسولی و کیانی (۱۳۸۹) نیز به برآوردهای بیش از حد مدل دوزنقه‌ای در مزرعه محصول گندم اشاره کردند. درمقابل، نتایج دو مدل دیگر یعنی مدل نمایی (رابطه ۲) و مدل تابع جذب (رابطه ۴) نتایج مناسب‌تری را ارائه داده‌اند. در سطح آبیاری I_2 یعنی تامین ۱۲۵ درصد نیاز آبی و احتمالاً اعمال ۲۵ درصد جزء آب‌شویی نتایج این دو مدل مناسب‌تر از سایر سطوح آبیاری است (جدول ۵) و در سه سطح دیگر آبیاری به دلیل اینکه آب‌شویی صورت نگرفته است مدل‌های فوق قادر به برآورد مناسب شوری خاک نیستند. اما همان‌طور که مشخص است مدل نمایی در این سه سطح آبیاری دارای دقت قابل قبول‌تری نسبت به مدل تابع جذب است. Hoffman (۱۹۸۵) داده‌های جمع آوری شده از کرت‌های آزمایشی و مزرعه را با ۵ مدل ماندگار برازش نمود و نشان داد داده‌های بدست آمده از پیش‌بینی مدل Hoffman و Van Genuchten (۱۹۸۳) همبستگی بالایی با داده‌های اندازه‌گیری شده داشته و مناسب‌ترین مدل برای پیش‌بینی نیاز آب‌شویی بود. در تحقیق نامبرده، از روش آبیاری پرتواتر استفاده گردید، که تنها با سیستم آبیاری میکرو تطابق دارد. رسولی و کیانی (۱۳۸۹) در تحقیق خود به بهتر بودن دقت مدل‌های نمایی و مدل تابع جذب اشاره داشتند.

جدول ۵: مقادیر شوری‌های پیش‌بینی شده عصاره اشباع خاک و مقادیر اندازه‌گیری شده شوری عصاره اشباع خاک

| | شوری اولیه آب آبیاری | شوری اصلاح شده آب آبیاری | شوری نهایی خاک اندازه‌گیری شده (dS/m) | شوری نهایی خاک پیش‌بینی شده (dS/m) | | |
|-------|-------------------------|-----------------------------|--|---------------------------------------|----------------------------|--------------|
| | | | | مدل دوزنقه ای | مدل هافمن و ونگنوختن | مدل نمایی |
| I_1 | ۰/۵ | ۰/۳۶ | ۴/۲۳ | ۲/۵۹ | ۵/۱۱ | ۲/۶۷ |
| I_2 | ۰/۵ | ۰/۳۸ | ۳/۰۶ | ۳/۶۴ | ۴/۱۸ | ۳/۶۲ |
| I_3 | ۰/۵ | ۰/۳۴ | ۴/۷۷ | ۳/۳۶ | ۷/۲۵ | ۳/۴۹ |
| I_4 | ۰/۵ | ۰/۳۰ | ۴/۸۵ | ۲/۷۲ | ۶/۱۶ | ۲/۸۳ |
| I_1 | ۵ | ۳/۳۴ | ۶/۲۶ | ۳/۹۰ | ۲۷/۲۳ | ۴/۶۱ |
| I_2 | ۵ | ۳/۵۸ | ۵/۹۲ | ۶/۳۰ | ۱۱/۳۵ | ۶/۱۱ |
| I_3 | ۵ | ۳/۰۱ | ۷ | ۴/۴۳ | ۳۹/۵۹ | ۵/۵۸ |
| I_4 | ۵ | ۲/۵۲ | ۷/۴ | ۳/۶۲ | ۳۳/۱۷ | ۴/۵۷ |
| I_1 | ۸ | ۵/۳۳ | ۷/۹۶ | ۴/۷۸ | ۴۱/۹۷ | ۵/۹۱ |
| I_2 | ۸ | ۵/۷۱ | ۸/۹ | ۸/۰۸ | ۱۶/۱۳ | ۷/۷۶ |
| I_3 | ۸ | ۴/۸۰ | ۸/۱ | ۵/۱۴ | ۶۱/۱۵ | ۶/۹۷ |
| I_4 | ۸ | ۴/۰۱ | ۷/۱۸ | ۴/۲۲ | ۵۱/۱۸ | ۵/۷۳ |
| I_1 | ۱۱ | ۷/۳۱ | ۱۰/۶۲ | ۵/۶۵ | ۵۶/۷۱ | ۷/۲۱ |
| I_2 | ۱۱ | ۷/۸۴ | ۱۰/۸۷ | ۹/۸۵ | ۲۰/۹۱ | ۹/۴۲ |
| I_3 | ۱۱ | ۶/۵۸ | ۱۰/۸ | ۵/۸۴ | ۸۲/۷۱ | ۸/۳۶ |
| I_4 | ۱۱ | ۵/۴۹ | ۱۰/۵۶ | ۴/۸۲ | ۶۹/۱۸ | ۶/۸۹ |

نتیجه‌گیری

با افزایش زمان بعد از کاشت و اعمال تیمارهای مختلف آبیاری، مقدار شوری عصاره اشباع خاک در اعماق مختلف خاک افزایش می‌یابد. همان‌طور که مشخص است در ۳ تاریخ اولیه مقدار تفاوت در EC عصاره اشباع خاک خیلی زیاد نیست و در تاریخ ۴ و ۵ نمونه‌برداری (یعنی ۱۰۲ و ۱۱۸ روز بعد از کشت کلزا) مقدار تفاوت‌ها بیش‌تر می‌شود. دلیل تفاوت کم در تاریخ‌های ۵۶، ۷۱ و ۸۷ روز بعد از کشت کلزا را همان‌طور که در قبل گفته شد، وجود بارش در این مدت می‌باشد. همان‌طور که مشخص است در ۷۱ روز بعد از کشت کلزا مقدار EC عصاره اشباع در اغلب تیمارها کاهش داشته و از روند افزایشی پیروی نمی‌کند که دلیل آن وقوع بارش در بازه اول الی ۱۵ خرداد می‌باشد که باعث آب‌شویی املاح شده و EC عصاره اشباع خاک کاهش یافته است. البته باید اشاره داشت که در تیمار I₄ چنین روندی مشاهده نمی‌گردد. زیرا کم‌آبیاری شدید در این تیمار باعث تجمع املاح در سطح خاک شده است که بارش‌ها تنها سطح خاک را آب‌شویی نموده و املاح را به اعماق پایین‌تر منتقل کرده است. همان‌طور که مشخص است افزایش زمان و اعمال تیمارهای کم‌آبی و شوری باعث افزایش پتانسیل اسمزی و ماتریک در اعماق مختلف خاک می‌شود. لذا اعمال مقادیر مختلف آب‌شویی بر اساس برنامه زمان‌بندی مناسب بسیار مهم و ضروری است. نتایج نشان داد که مدل دوزنقه‌ای قادر به پیش‌بینی شوری عصاره اشباع خاک نمی‌باشد. این روش شوری عصاره اشباع خاک را بسیار بیش‌تر از واقعیت برآورد می‌کند و نتایج آن تنها در شوری ۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر تاحدودی قابل قبول است. درمقابل نتایج دو مدل دیگر یعنی مدل نمایی و مدل تابع جذب نتایج مناسب‌تری را ارائه داده‌اند. مدل نمایی در این سه سطح آبیاری دارای دقت قابل قبول‌تری نسبت به مدل تابع جذب است.

منابع

- امام، ی.، پیرسته انوشه، ه.، حسینی، ا. و رفیعی، و. (۱۳۹۲). رشد اولیه و جذب یون‌های سدیم و پتاسیم در ده رقم جو در شرایط تنش شوری. فیزیولوژی گیاهان زراعی، دوره ۵، شماره ۱۹، ص ۱۵-۵.
- چراغی، س. و رسولی، ف. (۱۳۸۷). ارزیابی مدیریت‌های بهره‌برداری از منابع آب و خاک شور اراضی تحت کشت گندم مناطق مختلف کشور. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی مرکز ملی تحقیقات شوری، شماره ثبت ۸۷/۷۹۲.
- خلیلی راد، ر.، میرنیا، س. و بهرامی، ح. (۱۳۸۹). تاثیر مقادیر مختلف آب خاک بر توسعه ریشه ذرت. آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، دوره ۲۴، شماره ۳، ص ۵۶۴-۵۵۷.
- رحیمیان، م.، روستا، م.، مشکوه، م.، گوشه، م. و تفتی، م. (۱۳۹۱). برآورد شوری نیم‌رخ خاک بر اثر شوری آب زیرزمینی در دشت آزادگان. مجله پژوهش‌های خاک علوم خاک و آب، دوره ۲۶، شماره ۳، ص ۳۸۹-۳۸۱.
- رسولی، ف. و کیانی، ع. (۱۳۸۹). پیش‌بینی شوری خاک با استفاده از مدل‌های ماندگار در اراضی شور تحت کشت گندم در مناطق معتدل استان فارس، مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، دوره ۲۴، شماره ۳، ص ۲۲۸-۲۱۷.
- روستا، م. ج.، سلطانی، م.، بشارت، ن.، صالحی، م. و رنجبر، غ. (۱۳۹۲). بررسی تأثیر سطوح مختلف پلیمر سوپرچاذب و شوری آب آبیاری بر نگهداری رطوبت خاک. مجله پژوهش آب ایران، شماره ۱۲، ص ۲۴۴-۲۴۱.

سجادی، م.، زین الدینی، ا. و محمودی، ش. (۱۳۹۱). تأثیر کیفیت آب آبیاری بر خصوصیات خاک و عملکرد پسته در دشت رباط شهربابک. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، دوره ۲، شماره ۳، ص ۳۶-۴۵.

علی حوری، م.، ناصری، ع.، برومندنسب، س. و کیانی، ع. (۱۳۹۴). اثر کم آبیاری و شوری آب آبیاری بر توزیع شوری خاک و رشد رویشی نهال‌های خرما. حفاظت منابع آب و خاک، دوره ۴، شماره ۳، ص ۱-۱۳.

علیزاده، ا. (۱۳۸۳). رابطه آب و خاک و گیاه، چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه امام رضا.

علیزاده، ا. و کمالی، غ. (۱۳۸۷). نیاز آبی گیاهان در ایران، انتشارات آستان قدس رضوی، چاپ دوم، مشهد.

فیضی، م. (۱۳۹۲). اثر کیفیت و مدیریت آب بر ویژگی‌های شیمیایی خاک. پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، دوره ۲۷، شماره ۲، ص ۲۳۹-۲۵۲.

قدمی، ن. ا. (۱۳۸۹). زراعت و اصلاح کلزا (کاشت، داشت و برداشت). چاپ اول، انتشارات آموزش و ترویج کشاورزی.

قنبری مفتی کلایی، ه.، بهمنیار، م.، سالک‌گیلانی، س. و رئیس، ف. (۱۳۹۱). اثر سطوح مختلف شوری آب آبیاری و برخی مواد اصلاح‌کننده بر تنفس میکروبی و فعالیت فسفاتنازهای اسیدی و قلیایی خاک ریزوسفری طی رشد رویشی سویا. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک (علوم کشاورزی و منابع طبیعی)، دوره ۱۹، شماره ۳، ص ۶۳-۷۵.

کیانی، ع. و کوچک زاده، م. (۱۳۸۰). راهکارهای اجرایی و مدیریتی کاربرد آب شور در کشاورزی. اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب، دانشگاه زابل، ۱۸ اسفند ۱۳۸۰، زابل، ایران.

کریمی‌افشار، آ.، باقی‌زاده، ا. و محمدی‌نژاد، ق. (۱۳۹۴). ارزیابی فیزیولوژیک تحمل به خشکی دو اکوتیپ زیره سبز تحت شرایط گلخانه. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای، دوره ۲۳، شماره ۶، ص ۱۷۵-۱۸۴.

کیانی، ع.، همایی، م. و میرلطیفی، م. (۱۳۸۵). ارزیابی توابع کاهش عملکرد گندم در شرایط توام شوری و کم‌آبی، مجله علوم خاک و آب، دوره ۲۰، شماره ۱، ص ۷۳-۸۲.

نوشادی، م.، فهندژسعدی، س. و شهرکی‌مجاهد، ر. (۱۳۹۲). تعیین اثر شوری و شیوه‌های مدیریتی آبیاری در دو روش آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی بر گیاه گوجه‌فرنگی، چهارمین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، ۸-۶ اسفند ۱۳۹۲، اهواز، ایران.

نوروزی، م.، ماهرانی، م. و مسچی، م. (۱۳۷۸). استفاده از آب‌های شور و لب‌شور برای آبیاری، انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۷۶ص.

ختار، م. و محمدی، م. ح. (۱۳۹۸). اثر هم‌زمان شوری و مکش ماتریک خاک بر میزان تبخیر و توزیع مجدد رطوبت و شوری در دو خاک با بافت متفاوت. مجله تحقیقات آب و خاک ایران (علوم کشاورزی ایران)، دوره ۵۰، شماره ۱، ص ۸۹-۹۸.

Aragüesa, R., Urdanozb, V., Etinc, M.C., Kirdac, H., Ltifid, W., Lahloue, M. and Douaikf, A. (2011). Soil salinity related to physical soil characteristics and irrigation management in four Mediterranean irrigation districts. *Agricultural Water Management*, 98 (6), pp: 959-966.

Asgarzadeh, H., Mosaddeghi, M.R., Mahboubi, A.A., Nosrati, A. and Dexter, A.R. (2010). Soil water availability for plants as quantified by conventional available water, least limiting water range and integral water capacity. *Plant and Soil*, 335, pp: 229-244

Corwin, D.L., Rhoades, J.D. and Simunek, J. (2007). Leaching requirement for soil salinity control: Steady- state versus transient models. *Journal of agricultural water management*, 90 (3), pp: 165-180.

Eisa, S., Hussin, S., Geissler, N. and Koyro, H.W. (2012). Effect of NaCl salinity on water relations, photosynthesis and chemical composition of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as a potential cash crop halophyte. *Australian Journal of Crop Science*, 6(2), pp: 357-368.

Ayars, J.E., Hoffman, G.J. and Corwin, D.L. (2012). Leaching and rootzone salinity control. *Journal of Agricultural salinity assessment and management*, Chapter 2, pp:371-403.

Hoffman, G.J. (1985). Drainage required managing salinity. *Journal of Irrigation and Drainage Division*, 111 (3), pp: 199–206.

Hoffman, G.J. and Van Genuchten, M.T. (1983). Soil properties and efficient water use: water management for salinity control. In: Taylor, H.M., Jordan, W.R., Sinclair, T.R. *Limitation to efficient water use in crop production, USA*, pp: 73-85.

Kar, G., Kumar, A. and Martha, M. (2007). Water use efficiency and crop coefficients and dry season oilseed crops. *Journal of Agriculture Water Manage*, 87 (1), pp: 73-82.

Meiri, A. and Shalhevet, J. (1973). Pepper plant response to irrigation water quality and timing and leaching, *Ecological Studies*, Vol. IV. Springer-Verlag Berlin, pp: 421-429.

Richards, L.A. (1954) Diagnosis and Improvement of Saline Alkali Soils, *Agriculture. Handbook No.60*. US Department of Agriculture, Washington DC, 160p.

Silber, A., Israeli, Y., Elingold, I., Levi, M., Levkovitch, I., Russo, D. and Assouline, S. (2015). Irrigation with desalinated water: A step toward increasing water saving and crop yields. *Water Resources Research. Water Resources Research*, 51 (1), pp: 450–464.

Song, C., Ren, H. and Huang, C. (2016). Estimating Soil Salinity in the Yellow River Delta, Eastern China—An Integrated Approach Using Spectral and Terrain Indices with the Generalized Additive Model. *Pedosphere*, 26 (5), pp: 626–635.

Letey, J. and Feng, G.L.M. (2007). Dynamic versus steady-state approaches to evaluate irrigation management of saline waters. *Agricultural water management*, 91 (1-3), pp: 1-10.

Wan, S., Kang, Y., Wang, D., Liu, S. and Feng, L. (2007). Effect of drip irrigation with saline water on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) yield and water use in semi-humid area. *Agricultural Water Management*, 90 (1-2), pp: 63–74.

Xu, C. and Mou, B. (2016). Responses of Spinach to Salinity and Nutrient Deficiency in Growth, Physiology, and Nutritional Value. *Journal of American Society for Horticultural Science*, 141 (1), pp: 12-21.

Zarei, M.A., Tabatabaei, H., Shayan nejad, M. and Beigi Harchegani, H. (2008). Salinity distribution pattern in soil profile under three irrigation regimes in Karty irrigation in the eastern Isfahan lands. *Journal of research in agricultural science*, 3 (2), pp: 196-206.

Deep salinity changes due to irrigation with saline water

Vahid yazdani^{1*}, sepideh yekebash², mohammad soltani³

1) PhD in Water Science and Engineering, Managing Director of Hydropey Consulting Engineering.

2) Master student in Civil Engineering, Environment, Asrar University

3) PhD in Civil Engineering, Assistant Professor in Civil Engineering, Asrar University

*Corresponding author: v.yazdany@yahoo.com

Received Date: 2021. 07. 07

Accepted Date: 2020. 09. 14

Abstract

Salinity is one of the most widespread global environmental threats to agricultural production, especially in arid and semi-arid regions. This study was conducted to investigate the effect of irrigation water salinity on soil quality at the surface and depths. Therefore, in this study, different ratios of natural salt rock and well water with a flow rate of 35 liters per second (in the coordinates of 39.5 39 39.59 and 360.23.29) were used to create different salinities. The results showed that with increasing time after planting and applying different irrigation treatments, the salinity of soil saturated extract increases at different soil depths. As it is known, in the first 3 dates, the amount of difference in EC of soil saturated extract is not very large and in the 4th and 5th sampling dates (ie 102 and 118 days after rapeseed cultivation) the amount of differences increases. Of course, it should be noted that such a trend is not observed in I4 treatment. Because severe lack of irrigation in this treatment has caused the accumulation of salts in the soil surface that rainfall has only leached the soil surface and transported the salts to lower depths. As it is known, increasing the time and applying dehydration and salinity treatments increase the osmotic and matrix potential at different soil depths, so applying different amounts of leaching according to a proper schedule is very important and necessary. The results showed that the trapezoidal model is not able to predict the salinity of soil saturated extract. This method estimates the salinity of the soil saturated extract much higher than the reality and its results are only somewhat acceptable at salinity of 0.5 dS / m. In contrast, the results of the other two models, namely the exponential model and the absorption function model, have provided more appropriate results. The exponential model in these three irrigation levels has a more acceptable accuracy than the absorption function model.

Keywords: Irrigation, Soil salinity prediction, Salinity changes, Soil salinity.