

مقاله علمی - پژوهشی

اثر کاشت جو بر کاهش مقدار شوری خاک، تحت سطوح مختلف شوری و آبیاری

رضا سعیدی^{۱*} و عباس ستوده‌نیا^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۲۸

چکیده

امکان اصلاح اراضی شور با کشت گیاهان مقاوم به شوری، از تولید زه آب شور و صرف هزینه‌های زهکشی جلوگیری می‌کند. در این پژوهش، احتمال اصلاح خاک‌های شور از طریق کاشت گیاه جو، در سطوح مختلف آبیاری و شوری خاک بررسی شد. تیمارهای شوری شامل مقادیر (S₁) ۶، (S₂) ۹/۵ و (S₃) ۱۳ دسی‌زیمنس بر متر و تیمارهای آبیاری شامل آبیاری به مقدار (I₁) ۱۰۰، (I₂) ۷۵ و (I₃) ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه جو بود. آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی، با سه تکرار اجرا شد. در اثر افزایش شوری خاک (از S₁ به S₃) در سطوح آبیاری I₁، I₂ و I₃ به ترتیب ۲۵/۵، ۳۰/۶ و ۳۶ درصد از مقدار تبخیر-تعرق گیاه کاسته شد. مقدار شوری کم‌شده از خاک در تیمارهای S₁، S₂ و S₃ به ترتیب برابر با ۴/۳۴، ۶/۸۸ و ۹/۴۲ (در تیمار I₁)، ۳/۷۶، ۴/۹۲ و ۶/۰۸ (در تیمار I₂) و ۳/۶۴، ۳/۵۸ و ۳/۵۲ دسی‌زیمنس بر متر (در تیمار I₃) بود. کم‌آبیاری باعث کاهش راندمان اصلاح خاک توسط گیاه جو شد. افزایش شوری اولیه خاک در تیمارهای کم‌آبیاری نیز تأثیر زیادی بر این کار داشت. به طوری که با اعمال تنش خشکی، مقدار راندمان اصلاح خاک ۱۶ درصد (در تیمار S₁)، ۴۸ درصد (در تیمار S₂) و ۶۲/۶ درصد (در تیمار S₃) کاهش یافت. اما در سطح آبیاری کامل، افزایش شوری اولیه خاک (تا تیمار S₃)، تأثیری بر راندمان اصلاح خاک نداشت. برای تخمین مقدار شوری نهایی خاک از روی مقدار شوری اولیه خاک و سطح آبیاری، از توابع رگرسیونی استفاده شد. مدل نمایی، بهترین برازش را بین دو متغیر $\frac{I_i}{I_1}$ و $\frac{EC_f}{EC_i}$ داشت. نتیجه کلی نشان داد که دستیابی به بالاترین راندمان اصلاح خاک و مدل‌سازی بهینه در این فرایند، نیازمند آبیاری کامل گیاه بوده است.

واژه‌های کلیدی: اصلاح خاک، تنش شوری، تنش خشکی، جذب آب

مقدمه

اراضی تحت کشت ایران با مشکل شوری مواجه است (Fatehi et al., 2012). از این رو بررسی امکان اصلاح خاک‌های شور به طرُق مختلف و تبدیل آن‌ها به اراضی زراعی، همواره دارای اهمیت بوده است. در پژوهش‌های گذشته، تنش شوری عامل کاهش رشد برگ، کاهش انرژی گیاه برای فتوسنتز و تشکیل اندام‌های گیاهی معرفی شده است (Xin et al., 2016). باتوجه به آستانه تحمل هر گیاه، تنش شوری جذب نیتروژن، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و آهن توسط گیاه را کاهش داده و باعث افزایش مقاومت روزنه‌ای و کاهش تعرق گیاه می‌شود (Farooq et al., 2015). از اثرات تنش شوری، کاهش دادن آب قابل دسترس برای گیاه است. این اثر به دلیل کاهش پتانسیل آب ناشی از وجود یون‌های نمک محلول در آب خاک است (Srivastava et al., 2010). در پژوهشی گزارش شد که با افزایش شوری آب، پتانسیل اُسمزی آب در خاک کاهش یافت و جذب آب توسط گیاه منوط به صرف انرژی بیشتر بود. وجود یون‌های سدیم و کلر به صورت محلول در خاک شور، علاوه بر ایجاد مسمومیت برای گیاه، باعث

افزایش یافتن مقدار شوری خاک از حد آستانه تحمل گیاهان، از مشکلات مهم در بخش کشاورزی بوده که باعث کاهش عملکرد محصول می‌شود. از مهم‌ترین دلایل شور شدن خاک می‌توان به کاهش بارندگی، افزایش تبخیر از سطح خاک، توپوگرافی سطح زمین، کیفیت نامناسب آب آبیاری و نوع سنگ مادری تشکیل دهنده خاک اشاره نمود (Pazira and Homaei, 2010). مجموع مناطقی که در کره زمین تحت تأثیر شوری خاک قرار دارند، به‌طور مداوم در حال افزایش بوده و بر اساس برآوردهای صورت گرفته، حدود ۵۰ درصد از

۱- دکترای آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی^(ع)، قزوین، ایران
۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی^(ع)، قزوین، ایران
(* - نویسنده مسئول: Email: saeidi@org.ikiu.ac.ir)

افزایش مقدار سدیم و پتاسیم در دانه‌ها گردید (طباطبایی و همکاران، ۱۳۹۲). به‌طور کلی شوری از طریق تنش‌های اسمزی و یونی مانع رشد و توسعه گیاه می‌شود. با این حال، گیاه جو از طریق تنظیم اسمزی، حذف یا جابه‌جایی یون‌های سدیم و کلر تجمع یافته در خاک، به تنش شوری سازگاری پیدا می‌کند. بنابراین کاشت محصولات متحمل به شوری، روشی عملی و مقرون به صرفه (از نظر اقتصادی) برای کنترل شوری خاک گزارش شده است (Mwando et al., 2020). نتایج پژوهش‌های گذشته نشان داد که در شرایط تنش شوری، امکان جذب نمک توسط گیاه جو از خاک وجود داشت. پس بررسی توانایی گیاه جو (به‌عنوان یک گیاه مقاوم به شوری) در مورد جذب نمک‌ها از خاک و اصلاح خاک‌های شور حائز اهمیت بود. از این‌رو هدف از پژوهش حاضر، تأثیر کاشت جو بر کاهش مقدار شوری خاک، در سطوح مختلف شوری و آبیاری در نظر گرفته شد. در صورت احراز نتایج مطلوب، در اراضی شور (که به‌علت هزینه‌های اقتصادی، ابعاد و توپوگرافی زمین) امکان اجرای سامانه‌های زهکشی و آبشویی خاک وجود نداشته باشد، می‌توان از نتایج پژوهش حاضر برای اصلاح خاک‌های شور بهره‌برداری نمود.

مواد و روش‌ها

کلیات پژوهش

پژوهش حاضر طی سال ۱۳۹۹ در گلخانه دانشگاه بین‌المللی امام خمینی^(۱) در شهر قزوین انجام شد. گیاه مورد مطالعه جو و رقم آن والفجر بود که با تراکم ۴۵۰ بوته در متر مربع کاشته شد. بستر کشت بذور شامل گلدان‌هایی با قطر ۴۰ و ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر بود (Giovanni and Giovanna, 2008). این پژوهش دارای سه تیمار شوری عصاره اشباع خاک و سه سطح آبیاری بود. تیمارهای شوری شامل مقادیر (S₁) ۶، (S₂) ۹/۵ و (S₃) ۱۳ دسی‌زیمنس بر متر بود که به‌ترتیب بر اساس آستانه‌ی تحمل تنش شوری، کاهش ۲۵ و ۵۰ درصدی عملکرد محصول جو (تحت تنش شوری خاک) در نظر گرفته شد (علیزاده، ۱۳۸۶). تیمارهای آبیاری نیز شامل آبیاری گیاه به‌مقدار (I₁) ۱۰۰، (I₂) ۷۵ و (I₃) ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه جو بود. آزمایش به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی، با سه تکرار اجرا شد. مشخصات فیزیکی خاک مطابق جدول (۱) بود و برای شور کردن آن (تهیه تیمارهای شوری)، از زهاب تجمع یافته در زهکش حائل منطقه آبیگ واقع در شورزار مرکزی دشت قزوین استفاده شد (خصوصیات شیمیایی زهاب مطابق جدول ۲ بود). به‌طوری‌که با اختلاط زهاب و آب غیر شور، سطح شوری مد نظر تهیه و خاک با آن غرقاب شد. این کار تا زمان رسیدن عصاره اشباع خاک به حد شوری تیمارها، ادامه یافت. استفاده از زهاب منطقه شورزار به‌جای استفاده از کلرید سدیم و یا سنگ نمک برای شور کردن خاک، شرایط آزمایش

کاهش جذب آب توسط گیاه از خاک شد. در این شرایط، از مقدار تعرق گیاه و عملکرد محصول کاسته شد و محتوای آب خاک محفوظ ماند (سعیدی و همکاران، ۱۳۹۷). همچنین در پژوهشی اعلام شد که شوری به‌دلیل اثر اسمزی، جذب آب توسط ریشه را کم کرد و با افزایش مقاومت روزنه‌ای برگ‌ها، تعرق گیاه را کاهش داد (Zhang et al., 2016). در میان گیاهان زراعی که به‌صورت آبی و دیم تحت کشت قرار می‌گیرد، گیاه جو در رده‌ی گیاهان متحمل به شوری تقسیم‌بندی می‌شود. به‌طوری‌که تا آستانه شوری عصاره اشباع خاک برابر با ۶ دسی‌زیمنس بر متر، ورود هیچ‌گونه تنش شوری بر گیاه جو گزارش نشده است (علیزاده، ۱۳۸۶). در منطقه کالیفرنیا پژوهشی بر روی گیاه جو و در شرایط کشت داخل گلخانه انجام شد. نتایج نشان داد که در مقادیر شوری کم، کاهش پتانسیل اسمزی آب خاک صرفاً عامل محدودکننده برای جوانه‌زنی بذر جو بود. اما در شوری‌های زیاد به‌دلیل سمیت یونی و افزایش جذب یون‌های کلرید سدیم توسط گیاه جو و عدم تعادل بین جذب عناصر غذایی، عملکرد محصول کاهش یافت (Kingsbury et al., 1984). با افزایش غلظت نمک در محیط رشد ریشه جو، نوعی خشکی فیزیولوژیک به گیاه تحمیل می‌شود. این عمل باعث جلوگیری از ایجاد فشار تورژسانس در سلول‌های گیاهی شده و مانعی برای تقسیم سلولی و رشد گیاه است (Munns and Tester, 2008). در پژوهش دیگر گزارش شد که افزایش غلظت سدیم و کلر بر جذب رقابتی بسیاری از عناصر ضروری و انتخاب‌پذیری یونی در غشای گیاه اثر داشت و منجر به کاهش وزن خشک گیاه شد (Tavakkoli et al., 2010). یعنی در صورت افزایش تنش شوری، جذب عناصر غذایی مفید توسط گیاه از خاک کاهش یافت و جذب عناصر سدیم و کلر جایگزین آن شد. در مرکز ملی تحقیقات شوری در استان یزد پژوهشی دو ساله بر روی گیاه جو انجام شد و گزارش شد که به‌طور میانگین درصد رطوبت در کرت‌های با خاک شور نسبت به کرت شاهد، به‌مقدار ۱۶/۸ درصد (در سال اول) و ۲۲/۴ درصد (در سال دوم) بیشتر بود. یعنی شوری خاک باعث کاهش جذب آب توسط گیاه و باقی ماندن رطوبت در خاک شد (پیرسته انوشه و همکاران، ۱۳۹۶). در پژوهش دیگر اعلام شد که در شرایط تحت تنش شوری و خشکی، با تجمع پرولین در اندام‌های گیاه جو، توانایی گیاه برای بقا افزایش یافت. به‌طوری‌که افزایش غلظت پرولین به‌دلیل نقش این اسید آمینه در تنظیم فعالیت اسمزی گیاه بود. در حقیقت این عمل نوعی سازگاری گیاه در شرایط تحت تنش بود که برای ادامه حیات اعمال می‌شد (ویسی‌پور و همکاران، ۱۳۹۰). در پژوهش دیگر در مرکز ملی تحقیقات شوری استان یزد (مزرعه صدوق)، اثر سطوح مختلف شوری آب شامل ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ دسی‌زیمنس بر متر بر ارقام مختلف جو شامل افضل، نصرت، ریحان، ۴ شوری و رودشت، در محیط کشت پتری‌دیش بررسی شد. نتایج نشان داد افزایش تنش شوری عملکرد دانه جو را کاهش داد، اما باعث

اندازه‌گیری شده توسط دستگاه نسبت به مقادیر واقعی پارامترهای رطوبت و شوری عصاره اشباع خاک واسنجی شد. به این صورت که برای هر داده‌ی واقعی رطوبت و شوری خاک، یک داده نیز توسط دستگاه ثبت شد. سپس در یک نمودار، داده‌های واقعی در محور عمودی و داده‌های ثبت شده توسط دستگاه در محور افقی قرار داده شد. از این‌رو یک خط بین داده‌ها برازش داده شد و منحنی اِشیل (با معادله مشخص) برای تبدیل داده‌های دستگاه به داده‌های واقعی تشکیل داده شد (شکل ۱). در شکل (۲)، تصویر یکی از تیمارهای شوری (S_3) تحت سطوح مختلف آبیاری نشان داده شده است.

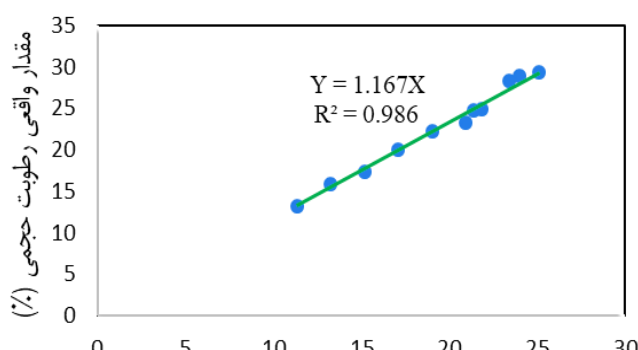
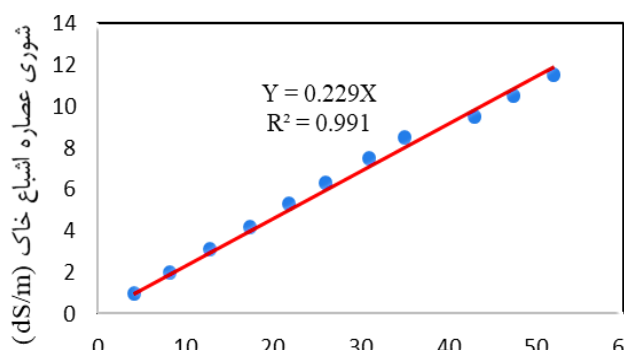
را به واقعیت نزدیک‌تر نموده و سطح اعتماد به نتایج را افزایش داد. از سوی دیگر با توجه به هدف بررسی تأثیر کشت جو بر مقدار شوری خاک، از آب شیرین قنات برای آبیاری استفاده شد. زیرا آب دارای املاح باعث اضافه شدن نمک به خاک می‌شد و بر نتایج پژوهش (مقدار شوری نهایی خاک) تأثیرگذار بود. لازم به ذکر است که مقادیر رطوبت خاک به صورت روزانه و توسط دستگاه رطوبت‌سنج مدل HH2 ساخت شرکت دلتاتی (ΔT) اندازه‌گیری شد. با توجه به این‌که دستگاه مذکور قابلیت اندازه‌گیری هم‌زمان شوری خاک را داشت، مقدار این پارامتر نیز اندازه‌گیری شد. قبل از اجرای پژوهش، مقادیر

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی خاک

پارامتر	بافت خاک	رس	سیلت	شن	رطوبت وزنی ظرفیت زراعی	رطوبت وزنی نقطه پژمردگی	چگالی ظاهری
واحد	-	%	%	%	%	%	$g.cm^{-3}$
مقدار	لوم شنی	۹	۳۱	۶۰	۲۴/۵	۱۱	۱/۴۲

جدول ۲- خصوصیات شیمیایی زهاب

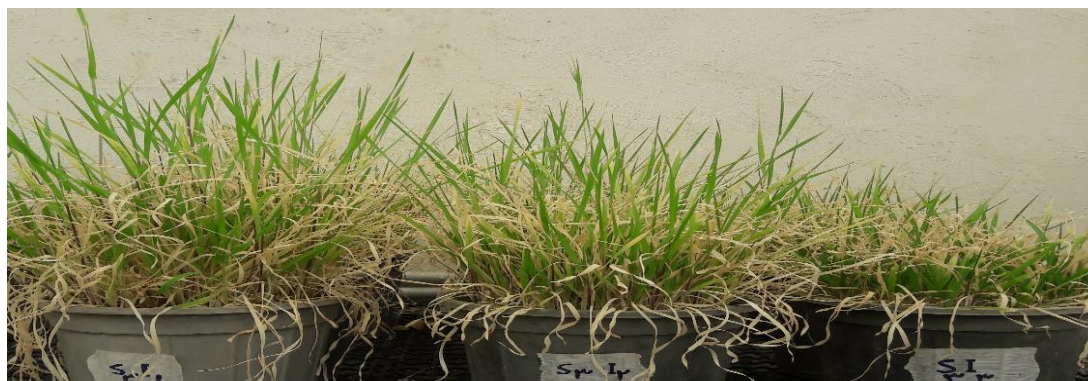
پارامتر	هدایت الکتریکی	سدیم	منیزیم	کلسیم	پتاسیم	سولفات	بی کربنات	کربنات	کلر
واحد	$dS.m^{-1}$	$meq.L^{-1}$	$meq.L^{-1}$	$meq.L^{-1}$	$meq.L^{-1}$	$meq.L^{-1}$	$meq.L^{-1}$	$meq.L^{-1}$	$meq.L^{-1}$
مقدار	۲۰۴	۱۱۴۱/۸	۳۲۱/۸۴	۴۸۴/۳	۱۱/۹	۶۳۶/۶	۴۵۱	۵۱/۶۲	۷۸۱/۶۴



مقدار شوری قرائت شده توسط دستگاه

مقدار رطوبت قرائت شده توسط دستگاه

شکل ۱- نمودارهای واسنجی مقادیر رطوبت و شوری خاک، قرائت شده توسط دستگاه



شکل ۲- تصویر تیمار شوری S_3 در سطوح مختلف آبیاری

حجم آبیاری کامل (تیمار ۱۰۰٪) در نظر گرفته شد. یعنی در زمان انجام آبیاری، به تیمارهای I_2 و I_3 به ترتیب ۷۵ و ۵۰ درصد حجم آبیاری کامل، آب داده شد.

$$V = \left(\frac{FC - PWP}{100} \right) \times RAW \times \rho_b \times D \times A \quad (2)$$

در رابطه (۲)؛ V : حجم آب آبیاری (m^3)، FC : رطوبت وزنی خاک در نقطه ظرفیت زراعی (درصد)، PWP : رطوبت وزنی خاک در نقطه پژمردگی دائم (درصد)، RAW : حد آب سهل الوصول برای گیاه جو، ρ_b : چگالی ظاهری خاک ($g.cm^{-3}$)، D : عمق خاک در گلدان (m) و A : مساحت سطح گلدان (m^2) بود.

همان طور که ذکر شد زمان انجام آبیاری در تیمارهای شوری باهم تفاوت داشت. با توجه به این که در خاک‌های شورتر، دیرتر جذب آب اتفاق می‌افتاد، زمان انجام آبیاری از تیمار S_1 تا S_3 بین ۳ تا ۵ روز متغیر بود (رسیدن به حد RAW تعیین کننده زمان آبیاری بود). از سوی دیگر جذب آب در ابتدای دوره رشد از اعماق سطحی خاک و در زمان تکمیل رشد، از کل عمق خاک اتفاق می‌افتاد و نیاز گیاه به آب در طول دوره رشد متفاوت بود. به این دلیل عمق خاک گلدان به ۴ قسمت مساوی تقسیم شد و تغییرات رطوبت خاک در دوره رشد در اعماق مختلف اندازه‌گیری شد. بر این اساس حجم آب آبیاری در تیمارهای I_1 ، I_2 و I_3 به ترتیب برابر با $2/3$ ، $1/2$ و $1/15$ لیتر در ابتدای دوره رشد تا $9/4$ ، $7/0.5$ و $4/7$ لیتر در زمان تکمیل رشد بود.

تحلیل آماری

در این پژوهش، مقادیر جذب آب توسط گیاه جو در تیمارهای مختلف و شوری عصاره اشباع خاک در پایان دوره رشد اندازه‌گیری شد. تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌های مقادیر عددی صفت مورد مطالعه توسط نرم‌افزار SPSS و با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال یک درصد انجام شد.

نتایج و بحث

تبخیر-تعرق در تیمارهای شوری و خشکی

با توجه به این که زهکشی از گلدان‌ها اتفاق نیفتاد، از طریق اندازه‌گیری اختلاف رطوبت خاک در فاصله‌ی بین دو آبیاری، مقدار تبخیر-تعرق در گلدان‌ها برآورد شد. نتایج نشان داد که افزایش شوری خاک و کاهش آب آبیاری، بر کاهش مقدار تبخیر-تعرق گیاه، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). در اثر افزایش شوری خاک (از S_1 به S_3) در سطوح آبیاری I_1 ، I_2 و I_3 ، به ترتیب $25/5$ ، $30/6$ و 36 درصد از مقدار تبخیر-تعرق کاسته شد. از سوی دیگر در اثر کاهش مقدار آب آبیاری (از I_1 به I_3) مقدار تبخیر-تعرق در سطوح شوری S_1 ، S_2 و S_3 ، به ترتیب $4/4$ ، $7/5$ و 18 درصد کاهش

زمان انجام آبیاری

زمان انجام آبیاری با توجه به مقدار رطوبت خاک گلدان‌ها و هنگام پایان حد آب سهل الوصول (RAW^1)، تعیین شد. حد RAW کسری از مقدار رطوبت موجود بین دو حد ظرفیت زراعی (FC^2) و نقطه‌ی پژمردگی دائم (PWP^3) بود که در منابع علمی برای گیاه جو مقدار 0.65 گزارش شد (علیزاده، ۱۳۸۶). یعنی زمان آبیاری گلدان‌ها، پس از تخلیه‌ی ۶۵ درصد از مقدار رطوبت بین دو حد FC و PWP در تیمار آبیاری کامل (۱۰۰٪) تعیین شد. برای اندازه‌گیری مقدار رطوبت خاک در دو حد FC و PWP ، نمونه‌ای از خاک اشباع گلدان برداشته شد. سپس نمونه‌ی خاک اشباع در دستگاه صفحات فشاری و به ترتیب در فشار مکشی یک سوم و ۱۵ اتمسفر قرار داده شد. در مرحله‌ی بعد، از تقسیم وزن آب باقی‌مانده در خاک بر وزن دانه‌های خشک خاک، مقدار رطوبت وزنی در نقاط پتانسیلی مدنظر محاسبه و در جدول (۱) ارائه شد. همچنین برای محاسبه و کنترل حد آب سهل الوصول خاک از رابطه (۱) استفاده شد. لازم به ذکر است با افزایش شوری خاک (کاهش پتانسیل آب خاک)، گیاه آب کمتری از خاک جذب نمود. به طوری که در زمان تخلیه کامل آب سهل الوصول در تیمار غیرشور، خاک تیمارهای شور همچنان مرطوب بود. بنابراین در تیمارهای شوری، رطوبت خاک شور دیرتر از خاک غیر شور به حد RAW می‌رسید. این عامل باعث شد که زمان آبیاری در تیمارهای شوری با هم تفاوت داشته باشد. در نتیجه محاسبه و کنترل حد آب سهل الوصول خاک، در تیمارهای شوری به صورت جداگانه انجام شد.

$$RAW = \frac{\theta_{FC} - \theta_0}{\theta_{FC} - \theta_{PWP}} \quad (1)$$

در رابطه ۱، RAW : حد آب سهل الوصول، θ_{FC} : رطوبت وزنی خاک در حد ظرفیت مزرعه (درصد)، θ_0 : رطوبت وزنی خاک (درصد) در زمان انجام آبیاری و θ_{PWP} : رطوبت وزنی خاک در حد نقطه پژمردگی دائم (درصد) می‌باشد.

تعیین حجم آب آبیاری

مقدار حجم آب در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد (آبیاری کامل)، با توجه به مقدار کمبود رطوبت خاک تا حد FC ، عمق و مساحت سطح خاک در گلدان، بر اساس رابطه (۲) تعیین شد. به همین دلیل خروج آب و املاح از انتهای گلدان (زهکشی) وجود نداشت و راندمان آبیاری صد در صد بود. بنابراین هرگونه تغییر در مقدار شوری خاک (کاهش احتمالی آن) فقط تحت تأثیر ریشه‌های گیاهان قرار داشت. در سطوح دیگر آبیاری (سایر تیمارها)، حجم آب آبیاری به صورت ضربی از

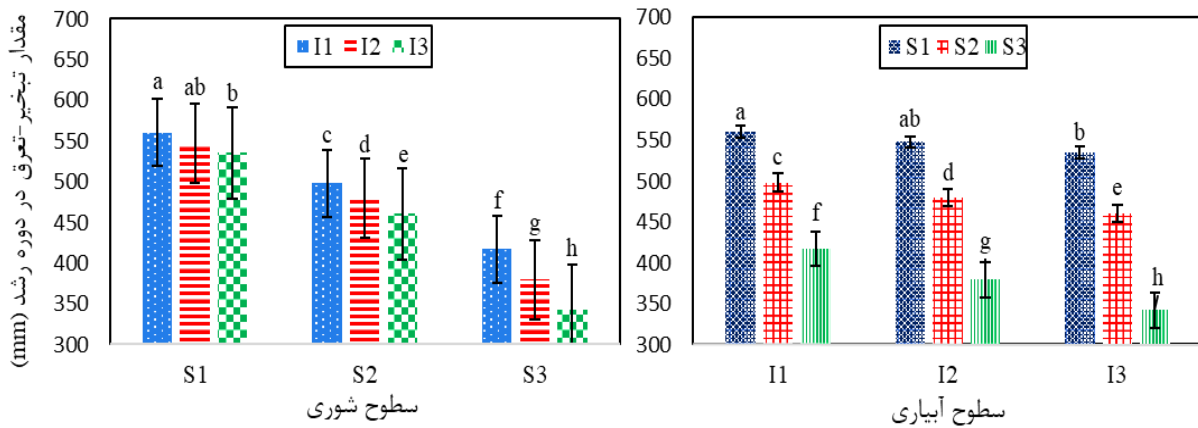
1 - Readily available water

2- Field Capacity

3 - Permanent Wilting Point

تعرق باشد (Hayat et al., 2020). در پژوهش دیگر، پاسخ هیدرولیکی سیستم ریشه جو به تنش شوری در شرایط کشت هیدروپونیک بررسی شد. گیاهان به مدت ۵ تا ۷ روز در معرض مقدار ۱۰۰ میلی مولار NaCl قرار گرفته و پاسخ آن‌ها در بازه زمانی ۱۵ تا ۱۷ روز پس از کاشت، تجزیه و تحلیل شد. نتایج نشان داد تنش شوری از طریق کاهش جریان آب در طول مسیر استوانه‌ای ریشه، هدایت هیدرولیکی سیستم ریشه را تا ۵۷ درصد کاهش داد. در این شرایط تعرق گیاه تا ۷۰ درصد کاهش یافت که نشان‌دهنده کاهش جذب آب توسط گیاه بود (Knipfer et al., 2021).

یافت (شکل ۳). به طور کلی در یک سطح آبیاری ثابت، با افزایش غلظت املاح موجود در خاک، پتانسیل آب برای جذب توسط گیاه کاهش یافت و به دنبال آن رطوبت در خاک باقی ماند. همچنین در یک سطح شوری ثابت، در اثر کاهش مقدار آب آبیاری نیز جذب آب توسط گیاه کاهش یافت. در پژوهشی مشابه گزارش شد که در شرایط تنش خشکی، از یک سو افزایش مقاومت روزنه‌ای به‌عنوان پاسخ هیدرولیکی گیاه به تنش و از سوی دیگر کاهش هدایت هیدرولیکی خاک اطراف ریشه اتفاق می‌افتد. از این رو عوامل مذکور باعث می‌شوند که پاسخ گیاه به شرایط تنش خشکی، کاهش جذب آب و



شکل ۳- مقدار کل تبخیر-تعرق گیاه جو در تیمارهای شوری و آبیاری

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در طرح

میانگین مربعات		درجه آزادی	منابع تغییر
تبخیر-تعرق	شوری نهایی خاک		
۰/۰۰۴ ^{NS}	۰/۰۰۸ ^{NS}	۲	تکرار
۴۷/۰۶ ^{**}	۱۶/۶ ^{**}	۲	شوری
۲۴/۸ ^{**}	۱/۲۱ ^{**}	۲	مقدار آبیاری
۵/۰۷۶ ^{**}	۰/۱۳ ^{**}	۴	شوری × مقدار آبیاری
۰/۰۱۱	۰/۰۲۷	۱۶	خطا

NS و **: به ترتیب غیرمعنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد

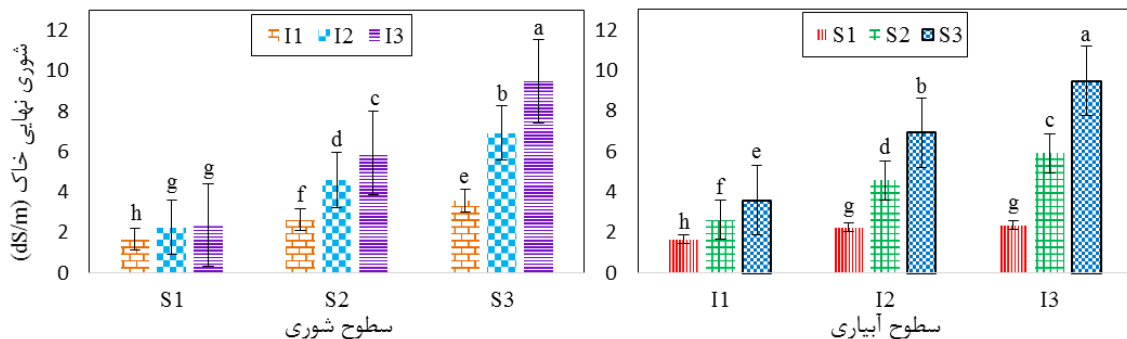
با ۴/۳۴، ۶/۸۸ و ۹/۴۲ دسی‌زیمنس بر متر (در تیمار I₁)، ۳/۷۶، ۴/۹۲ و ۶/۰۸ دسی‌زیمنس بر متر (در تیمار I₂) و ۳/۶۴، ۳/۵۸ و ۳/۵۲ دسی‌زیمنس بر متر (در تیمار I₃) کاهش یافت. نتایج نشان داد که به‌ازای یک درصد کاهش آبیاری نسبت به آبیاری کامل (I₁)، روند کاهش شوری عصاره اشباع خاک در تیمارهای S₁، S₂ و S₃ به‌ترتیب ۰/۱۴، ۰/۰۶۶ و ۰/۱۱۸ دسی‌زیمنس بر متر کاهش یافت. همچنین به‌ازای یک دسی‌زیمنس بر متر افزایش شوری اولیه خاک، روند کاهش شوری عصاره اشباع در تیمارهای آبیاری I₁ و I₂ به‌ترتیب ۰/۷۲۵، ۰/۳۳۱ دسی‌زیمنس بر متر افزایش و در تیمار I₃ به مقدار ۰/۰۱۷ دسی‌زیمنس بر متر کاهش یافت. نتایج به‌دست آمده بیانگر

شوری خاک در پایان دوره رشد

در پایان دوره رشد گیاه جو، مقدار شوری عصاره اشباع خاک در گلدان‌ها برای تیمارهای مختلف اندازه‌گیری شد. تأثیر مقدار شوری اولیه خاک و میزان آب آبیاری بر مقدار شوری نهایی خاک، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقدار شوری نهایی عصاره اشباع خاک در تیمارهای S₁، S₂ و S₃ به‌ترتیب ۱/۶۶، ۲/۶۲ و ۳/۵۸ دسی‌زیمنس بر متر (در تیمار I₁)، ۲/۲۴، ۴/۵۸ و ۶/۹۲ دسی‌زیمنس بر متر (در تیمار I₂)، ۲/۳۶، ۵/۹۲ و ۹/۴۸ دسی‌زیمنس بر متر (در تیمار I₃) اندازه‌گیری شد (شکل ۴). یعنی مقدار شوری عصاره اشباع خاک (تحت تأثیر کاشت جو) در تیمارهای S₁، S₂ و S₃ به‌ترتیب برابر

در تحقیق دیگر اثر شوری و خشکی ناشی از غلظت‌های مختلف کلرید سدیم، بر خصوصیات جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ی جو بررسی شد. نتایج نشان داد افزایش تنش شوری باعث افزایش جذب یون‌های سدیم و کلر توسط گیاه جو شد. اما یون‌های مذکور علاوه بر ایجاد مسمومیت برای گیاه، سبب اختلال در متابولیسم و جذب سایر عناصر غذایی از خاک شد (عالیپور و همکاران، ۱۳۹۸). در تحقیقی حد تحمل گیاه جو در تیمارهای مختلف شوری بررسی شد. در سطوح شوری ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مول کلرید سدیم، مقدار عنصر سدیم در برگ‌های گیاه نسبت به گیاه شاهد به ترتیب ۳۴، ۵۴ و ۷۸ درصد افزایش یافت. نتایج نشان داد افزایش غلظت این عنصر در محلول آب خاک از دلایل افزایش تجمع آن در بافت گیاه بود (Fayez and Bazaid, 2014).

این مطلب بود که اعمال کم‌آبیاری و تنش خشکی بر گیاه جو، باعث کاهش راندمان اصلاح خاک توسط گیاه شد. از سوی دیگر با افزایش شوری اولیه خاک (تا حد تیمار S_3)، کاهش مقدار نمک در خاک دلیلی برای افزایش جذب نمک توسط گیاه بود که البته این نکته هم به شرط تأمین نیاز آبی گیاه و وجود آب کافی در خاک قابل تضمین بود. در تحقیقی مشابه اثر شوری اولیه خاک بر مقدار عناصر سدیم و پتاسیم ذخیره شده در دانه جو بررسی شد. بر اساس نتایج حاصل، در سطوح شوری ۴، ۸ و ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر مقدار سدیم دانه به ترتیب ۰/۳۲، ۰/۴۵ و ۳/۱۲ درصد و مقدار پتاسیم دانه به ترتیب ۰/۴۵، ۰/۴۶ و ۰/۶ درصد گزارش شد (طباطبایی و همکاران، ۱۳۹۲). یعنی با افزایش شوری خاک، جذب نمک از خاک افزایش یافت، که مشابه نتایج به‌دست آمده در تیمارهای I_1 و I_2 در پژوهش حاضر بود.

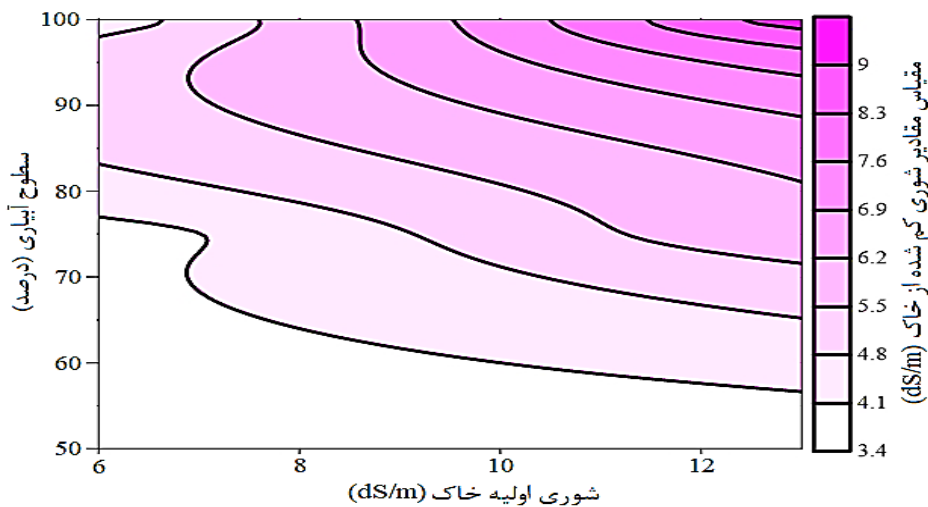


شکل ۴- شوری نهایی عصاره اشباع خاک تحت کشت جو در تیمارهای شوری و آبیاری

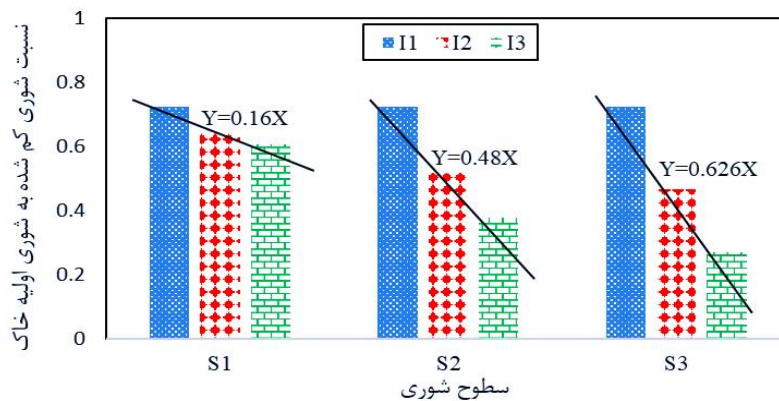
راندمان اصلاح خاک

به‌منظور برآورد راندمان اصلاح خاک شور توسط گیاه جو در مدیریت‌های مختلف آبیاری، نسبت مقدار شوری کم‌شده از خاک به شوری اولیه آن محاسبه شد (شکل ۴). بر این اساس نسبت مذکور در تیمارهای S_1 ، S_2 و S_3 به ترتیب برابر با ۰/۷۲۳، ۰/۷۲۴ و ۰/۷۲۴ (در تیمار I_1)، ۰/۶۴۳، ۰/۵۱۸ و ۰/۴۶۷ (در تیمار I_2) و ۰/۳۷۷، ۰/۶۰۶ و ۰/۲۷ (در تیمار I_3) برآورد شد. نتایج به‌خوبی نشان داد که در تیمار آبیاری کامل (I_1)، راندمان اصلاح خاک در همه سطوح شوری ثابت و دارای بیشترین مقدار بود. یعنی در صورت تأمین کامل نیاز آبی گیاه، افزایش شوری خاک تأثیری بر راندمان اصلاح خاک نداشت. اما کاهش آب آبیاری (اعمال کم‌آبیاری) باعث کاهش راندمان اصلاح خاک شد و با افزایش شوری خاک، اثر آن مضاعف شد. به‌طوری که کمترین مقدار برای راندمان اصلاح خاک در تیمار S_3I_3 اتفاق افتاد. در این شرایط با اعمال تنش خشکی تا حد ۵۰ درصد نیاز آبی جو (از تیمار I_1 تا I_3)، مقدار راندمان اصلاح خاک ۱۶ درصد (در تیمار S_1)، ۴۸ درصد (در تیمار S_2) و ۶۲/۶ درصد (در تیمار S_3) کاهش یافت (شکل ۴). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که لازمی رسیدن به هدف مطلوب اصلاح خاک‌های شور از طریق زراعت جو، آبیاری کامل گیاهان می‌باشد.

در شکل (۵) یک دسته منحنی هم‌مقدار شوری جذب شده از خاک توسط گیاه جو، نشان داده شده است. هر کدام از این منحنی‌ها، نشان‌دهنده مکان هندسی ترکیباتی از مقادیر شوری اولیه خاک و میزان آبیاری است که باعث جذب مقدار یکسانی نمک، توسط گیاه جو می‌شود. در شرایط اثر متقابل دو عامل مذکور، افزایش شوری اولیه خاک و آبیاری کامل گیاه باعث بیشترین مقدار جذب نمک و کاهش میزان آبیاری (تا حد ۵۰ درصد نیاز گیاه) باعث کمترین مقدار جذب نمک شده است. برای سایر مقادیر تیمارها نیز، یک مقدار برای شوری کم شده از خاک قابل رؤیت می‌باشد. بنابراین با استفاده از شکل (۵) می‌توان میزان اصلاح خاک‌های شور را از طریق زراعت جو، در شرایط مدیریت‌های مختلف آبیاری پیش‌بینی کرد. به این صورت که اگر یک خاک با شوری مشخص تحت کشت جو قرار گرفته و در یک میزان معین آبیاری بشود، مقدار شوری کم شده از خاک به راحتی قابل تشخیص خواهد بود. در پژوهش‌های گذشته از این شیوه برای تخمین ضریب تنش تبخیر-تغرق ذرت تحت تنش‌های شوری و حاصلخیزی (سعیدی و همکاران، ۱۳۹۷) و تخمین عملکرد محصول گوجه‌فرنگی در شرایط تنش توأمان شوری و خشکی (محمدی و همکاران، ۱۳۸۹) استفاده شد.



شکل ۵- منحنی‌های هم‌مقدار نمک جذب شده از خاک توسط گیاه جو، در تیمارهای شوری و آبیاری



شکل ۶- نسبت شوری کم شده به شوری اولیه خاک، در تیمارهای مختلف

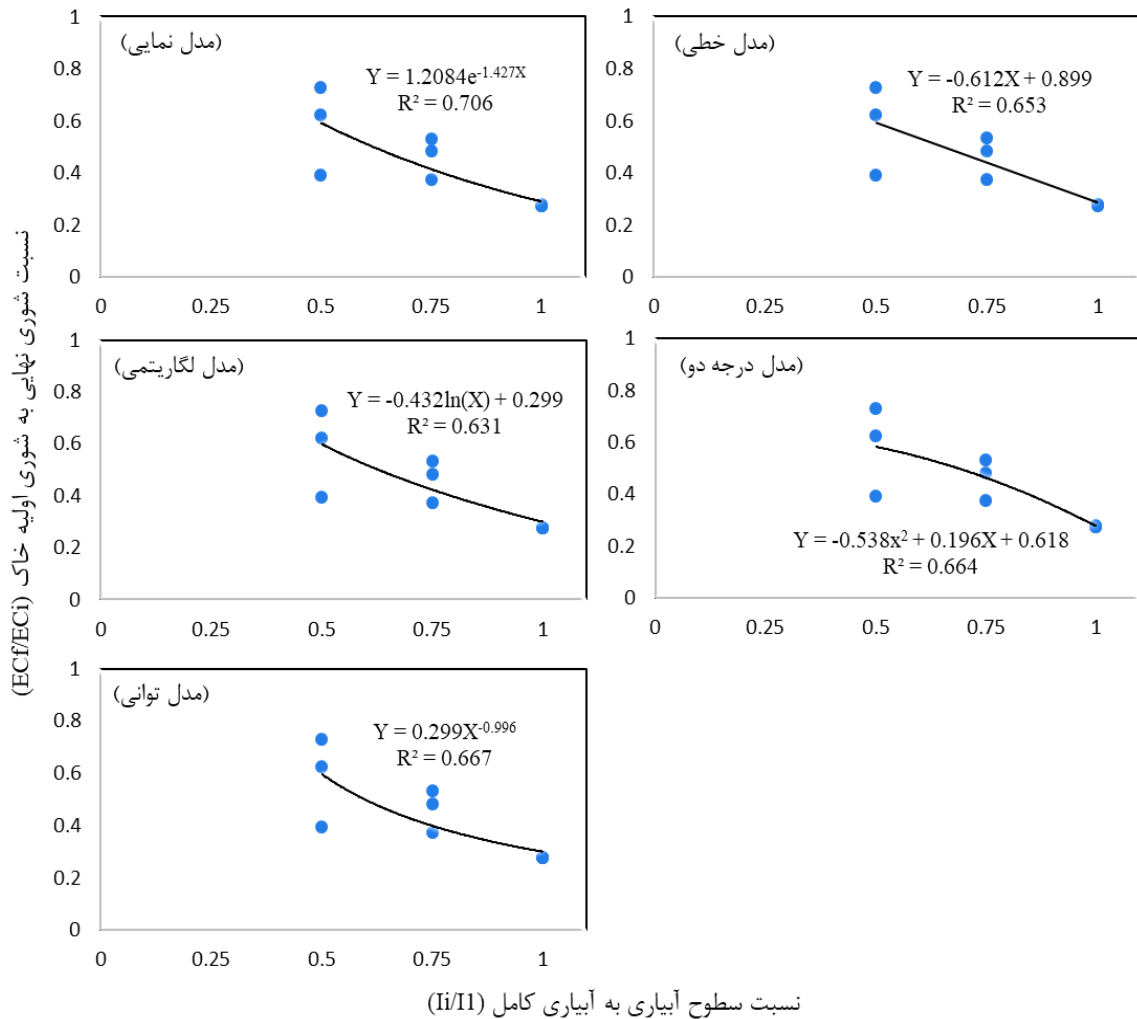
(R^2) برابر با ۰/۷۰۶، ۰/۶۶۷، ۰/۶۶۴، ۰/۶۵۳ و ۰/۶۳۱، بیشترین تا کمترین همبستگی بین متغیرهای مستقل و وابسته را داشته‌اند. با توجه به شکل (۷) مشخص شد که علت کم بودن همبستگی بین متغیرها، کاهش میزان آب آبیاری بوده است. به طوری که در میزان آبیاری کامل تمام نقاط بر هم منطبق بوده و اما در میزان آبیاری ۵۰ درصد، نقاط فاصله‌ی زیادی از هم گرفتند. بنابراین در میزان آبیاری کامل، ضریب R^2 نزدیک به یک را برای این مدل‌سازی می‌توان پیش‌بینی نمود. در این شرایط با استفاده از مدل تجربی بهینه که در این پژوهش مدل‌سازی می‌باشد، تخمین شوری نهایی خاک تحت کشت جو امکان‌پذیر می‌باشد. تاکنون تحقیقی در ارتباط با مدل‌سازی اصلاح خاک شور از طریق کشت جو گزارش نشده و از این جهت، پژوهش حاضر دارای نوآوری بود. اما در پژوهش‌های مشابه، بین نسبت شوری اولیه به شوری نهایی خاک $\left(\frac{EC_i}{EC_f}\right)$ و نسبت عمق آب آبیاری به عمق خاک $\left(\frac{D_w}{D_s}\right)$ مدل‌های رگرسیونی برآزش داده شد. از

مدل‌سازی اصلاح خاک شور

بر اساس مقدار شوری نهایی خاک (متغیر وابسته) و مقادیر شوری اولیه خاک و میزان آبیاری (متغیرهای مستقل)، فرایند اصلاح خاک شور توسط گیاه جو، با استفاده از توابع رگرسیونی مدل‌سازی شد. به این صورت که نسبت شوری نهایی به شوری اولیه خاک (EC_f/EC_i) در محور عمودی نمودار و نسبت مقدار آبیاری به آبیاری کامل (I_i/I_1) در محور افقی نمودار قرار داده شد و توابع خطی، نمایی، لگاریتمی، درجه دوم و توانی بین آن‌ها برآزش داده شد (شکل ۷). توابع مذکور در واقع مدل‌های رگرسیونی بودند که به صورت تجربی قابلیت تخمین متغیر وابسته را داشتند. ممکن بود این قبیل مدل‌ها، محدودیتی مانند وابستگی به شرایط خاص بافت خاک داشته باشند، اما معمولاً نسبت به سایر روش‌های تئوری که بر پایه فرضیات متعددی هستند، ترجیح داده می‌شوند. نتایج نشان داد که مدل‌های نمایی، توانی، درجه دو، خطی و لگاریتمی به ترتیب با ضریب تبیین

سانتی‌متر، تحت آبیاری قرار گرفت. در این پژوهش چهار مدل ریاضی توانی، معکوس، لگاریتمی و نمایی برای تخمین مقدار شوری نهایی خاک استفاده شد. نتایج نشان داد که در روش آبیاری غرق‌آب، بهترین مدل بر مبنای ضریب همبستگی بیشتر و خطای استاندارد کمتر، مدل نمایی بود (بهبهانی‌زاده رضائیان و همکاران، ۱۳۹۶).

این‌رو در پژوهشی، خاکی با شوری اولیه‌ی $(dS.m^{-1})$ ۴۰ تحت آبیاری غرق‌آب دائم قرار گرفت. بر اساس نتایج به‌دست آمده برای تخمین شوری نهایی خاک، رابطه خطی $\frac{D_w}{D_s} = \frac{1}{5} \left(\frac{EC_i}{EC_f} \right) + 0.15$ ارائه شد (Reeve et al., 1955). در پژوهش دیگر اعماق ۰-۲۵، ۲۵-۵۰، ۵۰-۷۵ و ۷۵-۱۰۰ سانتی‌متری خاک‌های شور و سدیمی منطقه ویس در استان خوزستان با عمق‌های آب ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰



شکل ۷- مدل‌های تجربی پیش‌بینی کننده شوری نهایی خاک، در سطوح مختلف آبیاری

اقتصادی طراحی و اجرای سامانه‌های زهکشی، شوری خاک‌های کشاورزی را نیز کاهش داد. از این‌رو در پژوهش حاضر، امکان اصلاح و کاهش شوری خاک‌های شور از طریق زراعت جو و تأثیر اعمال کم‌آبیاری بر این فرایند، بررسی شد. نتایج نشان داد در شرایط کاهش مقدار آب آبیاری و افزایش شوری خاک، تبخیر-تعرق گیاه کاهش یافت. تأثیر مقدار شوری اولیه خاک و میزان آب آبیاری بر مقدار تبخیر-تعرق و شوری نهایی خاک، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اعمال کم‌آبیاری و تنش خشکی بر گیاه جو، باعث

نتیجه‌گیری

افزایش شوری اراضی تحت کشت در دنیا، موجب به‌کارگیری راه‌کارهای مختلف مدیریتی برای اصلاح خاک‌های شور کشاورزی شده است. با توجه به ایجاد آلودگی زیست محیطی به دلیل انتقال زه‌آب شور از اراضی کشاورزی، پژوهش‌گران همواره به دنبال روش‌هایی غیر از زهکشی، برای کاهش شوری خاک بوده‌اند. برای رفع ایراد مذکور، می‌توان با کاشت گیاهان مقاوم به شوری، علاوه بر حذف هزینه‌های

تحمل به شوری ارقام جو در شرایط آزمایشگاه و مزرعه. فصلنامه فیزیولوژی گیاهان زراعی، ۵(۲۰): ۸۷-۱۰۱.

عالیپور، س.، رستمی، ط.، و غلامی، ش. ۱۳۹۸. بررسی اثر تنش شوری و خشکی ناشی غلظت‌های مختلف کلرید سدیم و پلی‌اتیلن گلایکول بر خصوصیات جوانه‌زنی و رشد گیاهچه در جو دره. مجله تحقیقات بذر، ۹(۲): ۴۱-۵۱.

علیزاده، ا. ۱۳۸۶. طراحی سیستم‌های آبیاری سطحی. جلد اول. مشهد.

محمدی، م.، لیاقت، ع.، و مولوی، ح. ۱۳۸۹. بهینه‌سازی مصرف آب و تعیین ضرایب حساسیت گوجه‌فرنگی در شرایط توأمان تنش شوری و خشکی در منطقه کرج. مجله آب و خاک. ۳(۳): ۵۸۳-۵۹۲.

ویسی‌پور، ا.، مجیدی، م. م.، و میرلوحی، ا. ۱۳۹۰. تحلیل روابط صفات تحت دو شرایط تنش و عدم تنش خشکی در توده‌های اسپرس. مجله علوم گیاهان زراعی ایران. ۴۲(۴): ۷۴۵-۷۵۶.

Fatehi, F., Hosseinzadeh, A., Alizadeh, H., Brimavandi, T., and Struik, P. C. 2012. The proteome response of salt-resistant and salt-sensitive barley genotypes to long-term salinity stress. Journal of Molecular Biology Reports. 39: 6387-6397.

Farooq, M., Hussain, M., Wakeel, A., and Kadambot, H. M. 2015. Salt stress in maize: effects, resistance mechanisms, and management. Journal of the Institute National de la Recherche Agronomies (INRA). 35: 461-481

Fayez, K. A., and Bazaid, S. A. 2014. Improving drought and salinity tolerance in barley by application of salicylic acid and potassium nitrate. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 13: 45-55.

Giovanni, L., and Giovanna, C. 2008. Reclamation of sodic-saline soils. Barley crop response. Journal of Agron. 4: 279-286.

Hayat, F., Ahmed, M. A., Zarebanadkouki, M., Javaux, M., Cai, G., and Carminati, A. 2020. Transpiration Reduction in Maize (*Zea mays*L) in Response to Soil Drying. Journal of Frontiers in Plant Science. 10: 1965.

Kingsbury, R.W., Epstein, E., and Percy, R.W. 1984. Physiological responses to salinity in selected lines of wheat. Journal of Plant Physiology. 74: 417-423.

Knipfer, T., Danjou, M., Vionne, C., and Fricke, W. 2021. Salt stress reduces root water uptake in barley (*Hordeum vulgare* L.) through modification of the transcellular transport path. Journal of Plant, Cell and Environment., 44(2): 458-475.

Munns, R., and Tester, M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. Journal of Plant Biology, 59: 651-681

کاهش راندمان اصلاح خاک شد. از سوی دیگر در شرایط افزایش شوری اولیه خاک (تا حد تیمار S_3)، افزایش جذب نمک توسط گیاه اتفاق افتاد که البته این نکته به شرط تأمین نیاز آبی گیاه قابل تضمین بود. نسبت مقدار شوری کم‌شده از خاک به شوری اولیه آن، در تیمارهای S_1 ، S_2 و S_3 به ترتیب برابر با $0/723$ ، $0/724$ و $0/724$ (در تیمار I_1)، $0/643$ ، $0/518$ و $0/467$ (در تیمار I_2) و $0/377$ و $0/27$ (در تیمار I_3) برآورد شد. در نتیجه با اعمال تنش خشکی تا حد ۵۰ درصد نیاز آبی جو (از تیمار I_1 تا I_3)، مقدار راندمان اصلاح خاک ۱۶ درصد (در تیمار S_1)، ۴۸ درصد (در تیمار S_2) و ۶۲/۶ درصد (در تیمار S_3) کاهش یافت. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که لازمه‌ی رسیدن به هدف مطلوب اصلاح خاک‌های شور از طریق زراعت جو، آبیاری کامل گیاهان بوده است. از سوی دیگر در مدل‌سازی فرایند اصلاح خاک شور، مدل‌نمایی بهترین برازش را بین دو متغیر کسری $\frac{I_i}{I_1}$ و $\frac{EG_f}{EG_i}$ داشت. با استفاده از این معادله، امکان تخمین شوری نهایی خاک تحت کشت جو بر اساس مقدار شوری اولیه خاک و میزان آب آبیاری فراهم شد. اما باید توجه داشت که کاربرد هر روشی برای اصلاح خاک شور می‌تواند زمان‌بر و طولانی مدت باشد. از این‌رو نمی‌توان انتظار داشت که با یک‌بار کشت جو، بتوان خاک شور (با شوری در محدوده تیمارهای این پژوهش) را به‌طور کامل اصلاح نمود.

منابع

بهبهانی‌زاده رضائیان، ز.، پذیرا، ا.، پناهپور، ا.، و ظهراپی، ن. ۱۳۹۶. مقایسه روش‌های مختلف آشوبی نمک‌های محلول از نیم‌رخ خاک‌های شور و سدیمی. فصلنامه تخصصی علوم و مهندسی آب دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، ۷(۱۵): ۷۹-۹۳.

پیرسته‌انوشه، ه.، امام، ی.، کاظمینی، س. ع.، و دهقانی، ف. ۱۳۹۶. تأثیر شوری آب آبیاری بر عملکرد جو، رطوبت و شوری خاک در طول فصل رشد و بهره‌وری آب. مجله پژوهش‌های خاک، ۳۱(۲): ۱۵۵-۱۶۷.

سعیدی، ر.، ستوده‌نیا، ع.، رضانی‌اعتدالی، ه.، کاویانی، ع.، و نظری، ب. ۱۳۹۷. مطالعه تأثیر تنش‌های شوری آب و حاصلخیزی خاک بر تبخیر و تعرق ذرت علوفه‌ای. مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۴۹(۴): ۹۴۵-۹۵۴.

سعیدی، ر.، رضانی‌اعتدالی، ه.، ستوده‌نیا، ع.، کاویانی، ع.، و نظری، ب. ۱۳۹۷. تعیین روابط بین عملکرد و تبخیر-تعرق ذرت علوفه‌ای، در شرایط تنش شوری و محدودیت نیتروژن. مجله پژوهش آب در کشاورزی، ۳۲(۳): ۳۶۶-۳۵۱.

طباطبایی، س. ع.، کوچکی، ه.، ر.، و ملاصادقی، ج. ۱۳۹۲. ارزیابی

- on water homeostasis under salinity stress in Brassica juncea roots. *Journal of Plant Science*, 178: 517-522.
- Tavakkoli, E., Rengasamy, P., and McDonald, G.K. 2010. High concentrations of Na⁺ and Cl⁻ ions in soil solution have simultaneous detrimental effects on growth of faba bean under salinity stress. *Journal of Experimental Botany*. 61: 4449-4459.
- Xin, H., Peiling, Y., Shumei, R., Yankai, L., Guangyu, J., and Lianhao, L. 2016. Quantitative response of oil sunflower yield to evapotranspiration and soil salinity with saline water irrigation. *Journal of Agric and Biol Eng*. 9(2): 63-73.
- Zhang, P., Senge, M., and Dai, Y. 2016. Effects of salinity stress on growth, yield, fruit quality and water use efficiency of tomato under hydroponics system. *Journal of Agricultural Science*. 4(2016): 46- 55.
- Mwando, E., Angessa, T., Han, Y., and Li, C. 2020. Salinity tolerance in barley during germination homologs and potential genes. *Journal of Zhejiang University-SCIENCE B (Biomedicine & Biotechnology)*. 21(2): 93-121.
- Pazira, E., and Homae, M. 2010. Salt leaching efficiency of subsurface drainage systems at presence of diffusing saline water table boundary: a case study in Khuzestan plains, Iran. *Proceedings of International of the 2th World Congress of the International Commission of Agricultural Engineering (CIGR)*, Quebec City, Canada, pp: 1-15
- Reeve, R. C., Pillsbury, A. F., and Wilcox, L. V. 1955. Reclamation of saline and high boron soil in the Coachella Valley of California. *Hilgardia*, 24: 69-91.
- Srivastava, A. K., Suprasanna, P., Srivastava, S., and Souza, S. F. 2010. Thiourea mediated regulation in the expression profile of aquaporin's and its impact

Effect of Barley Cultivation on the Reducing of Soil Salinity Amount, under Different Levels of Salinity and Irrigation

R. Saeidi^{1*} and A. Sotoodehnia²

Received: Mar.03, 2021

Accepted: Apr.18, 2021

Abstract

The possibility of modification the saline lands by planting the salt-resistant crops, prevents the production of wastewater and drainage costs. In this study, the possibility of modifying saline soils by planting barley at different irrigation levels and soil salinity, was investigated. Salinity treatments included 6(S_1), 9.5(S_2) and 13(S_3) ($dS.m^{-1}$) and irrigation treatments included the amount of 100(I_1), 75(I_2) and 50(I_3) percent based on the barley water requirement. This research was done as a factorial experiment in a completely randomized design with three replications. Due to increasing soil salinity (from S_1 to S_3) at irrigation levels of I_1 , I_2 and I_3 , the amount of evapotranspiration was reduced to 25.5, 30.6 and 36 percent, respectively. The amount of reduced soil salinity in S_1 , S_2 and S_3 treatments were equal to 4.34, 6.88 and 9.42 (in I_1 treatment), 3.76, 4.92 and 6.08 (in I_2 treatment) and 3.64, 3.58 and 3.52 $dS.m^{-1}$ (in I_3 treatment), respectively. Low irrigation reduced the soil modification efficiency. Also, increasing the soil salinity in low irrigation treatments had a high effect on this work. Due to drought stress, the amount of soil modification efficiency decreased to 16% (in S_1 treatment), 48% (in S_2 treatment) and 62.6% (in S_3 treatment). However, at full irrigation level, increasing the soil salinity (up to S_3 treatment) did not had effect on the soil modification efficiency. Regression functions were used to estimate the final soil salinity, by the initial soil salinity and irrigation level. The exponential model had the best fit between the two variables of $\frac{EC_f}{EC_i}$ and $\frac{I_i}{I_1}$. The overall result showed that achieving to the highest soil modification efficiency and optimal modeling, required to the full irrigation of the crop.

Keywords: Drought stress, Salinity stress, Soil modification, Water absorption

1-Ph.D. of irrigation and drainage Engineering, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

2- Associate professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

(*- Corresponding Author. Email: saeidi@org.ikiu.ac.ir)