



The sensitivity effect of maize growth stages on application of water uptake reduction functions, under salinity stress conditions

Reza Saeidi¹ 

1. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran. E-mail: saeidi@org.ikiu.ac.ir

| Article Info | ABSTRACT |
|---|---|
| Article type: Research Article | <p>Simulation of water uptake amount during crop growth period, leads to optimal management of water consumption. This research was conducted on maize S.C 704 in lysimetric space (in Qazvin), in 2021. The research aim was simulation of salinity stress effect on crop water uptake amount. The experiment was performed as factorial and in a completely randomized design. The effect of soil salinity with levels of; 0.5(S₁), 1.7(S₂), 2.5(S₃), 3.5(S₄), 4.5(S₅), 5.5(S₆), 6.5(S₇) and 7.5(S₈) dS.m⁻¹, were investigated in growth stages of initial(P₁), development(P₂), mid(P₃) and late(P₄). For simulating the amount of water uptake reduction in salinity stress conditions, the functions of Van Genuchten, Van Genuchten-Hoffman, Dirksen-Augustijn and Mass-Hoffman were used. Models calibration was done by real data in S₁, S₃, S₅ and S₇ treatments and models evaluation was done in S₂, S₄, S₆ and S₈ treatments. The models calibration was done once for whole growth period (by constant coefficients) and again by considering the crop growth stages sensitivity (by variable coefficients). The slope of water uptake reduction at P₁ to P₄ stages and whole growth period, was estimated to be 6.81%, 7.4%, 9.13%, 4.25% and 7.9%, respectively. The highest to lowest crop sensitivity to salinity stress was observed in P₃, P₂, P₁ and P₄ stages, respectively. The functions calibration for whole growth period, was less accurate for determining the water uptake amount. Evaluation statistics (CRM: -0.0005, EF: 0.993, R²:0.995, RMSE: 0.016 and ME:0.031) showed that the Mass-Hoffman function was optimal model for simulation the water uptake reduction. By considering the effect of crop growth stages sensitivity, were done a more accurate estimation of water uptake and actual crop water requirement amounts.</p> |
| Article history: | |
| Received: Apr. 24, 2023 | |
| Revised: May. 25, 2023 | |
| Accepted: May. 29, 2023 | |
| Published online: June. 22, 2023 | |
| Keywords: Growth Period, Modeling, Stress Coefficient | |

Cite this article: Saeidi, R. (2023). The Sensitivity Effect of Maize Growth Stages on Application of Water Uptake Reduction Functions, under Salinity Stress Conditions, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 54 (4), 597-612.

<https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.357997.669488>

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.



DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.357997.669488>

اثر حساسیت مراحل رشد گیاه ذرت در کاربرد توابع کاهش جذب آب، در شرایط تنش شوری

رضا سعیدی^۱ ✉^۱. نویسنده مسئول، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران. رایانامه: saeidi@org.ikiu.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۲/۴

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۳/۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۳/۸

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۴/۱

واژه‌های کلیدی:

دوره رشد،

ضریب تنش،

مدل‌سازی.

شبیه‌سازی دقیق میزان جذب آب در دوره رشد گیاه، باعث مدیریت بهینه مصرف آب می‌شود. این پژوهش در سال ۱۴۰۰ با هدف شبیه‌سازی اثر تنش شوری بر میزان جذب آب گیاه ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴، در فضای لایسیمیتری و در قزوین انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا شد. اثر شوری خاک (فاکتور اصلی) شامل سطوح (S₁) ۰/۵، (S₂) ۱/۷، (S₃) ۲/۵، (S₄) ۳/۵، (S₅) ۴/۵، (S₆) ۵/۵، (S₇) ۶/۵ و (S₈) ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر، در مراحل رشد (فاکتور فرعی) اولیه (P₁)، توسعه (P₂)، میانی (P₃) و پایانی (P₄) بررسی شد. برای شبیه‌سازی میزان کاهش جذب آب در شرایط کاربرد تنش شوری، از توابع ون‌گونختن، ون‌گونختن-هافمن، دیرکسن-آگوستینچن و ماس-هافمن استفاده شد. واسنجی مدل‌ها (توابع) با داده‌های واقعی در تیمارهای S₁، S₃، S₅ و S₇ و ارزیابی آن‌ها در تیمارهای S₂، S₄، S₆ و S₈ انجام شد. واسنجی مدل‌ها یک‌بار برای کل دوره رشد (با ضرایب ثابت) و بار دیگر با در نظر گرفتن حساسیت مراحل رشد گیاه (با ضرایب متغیر) انجام شد. در اثر افزایش شوری خاک، شیب کاهش جذب آب توسط گیاه در مراحل رشد P₁ تا P₄ و کل دوره رشد به ترتیب ۶/۸۱، ۷/۴، ۹/۱۳، ۴/۲۵ و ۷/۹ درصد برآورد شد. بیش‌ترین تا کم‌ترین حساسیت گیاه به تنش شوری، به ترتیب در مراحل رشد P₃، P₂، P₁ و P₄ مشاهده شد. نتایج نشان داد که واسنجی توابع برای کل دوره رشد گیاه، دقت کم‌تری برای تعیین میزان جذب آب در طول دوره رشد داشت. آماره‌های ارزیابی CRM، EF، R²، RMSE و ME به ترتیب با مقادیر ۰/۰۰۵، ۰/۹۹۳، ۰/۹۹۵، ۰/۰۱۶ و ۰/۰۳۱ نشان دادند که تابع خطی ماس-هافمن، مدل بهینه برای شبیه‌سازی میزان کاهش جذب آب بود. با در نظر گرفتن اثر حساسیت مراحل رشد گیاه در توابع کاهش جذب آب، می‌توان برآورد دقیق‌تری از میزان جذب آب و نیاز آبی واقعی گیاه داشت، که نتیجه آن افزایش بهره‌وری مصرف آب خواهد بود.

استناد: سعیدی؛ رضا، (۱۴۰۲). اثر حساسیت مراحل رشد گیاه ذرت در کاربرد توابع کاهش جذب آب، در شرایط تنش شوری، مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۴ (۴)،

<https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.357997.669488>. ۵۹۷-۶۱۲

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.357997.669488>

مقدمه

بحران کمبود منابع آب باکیفیت در بخش کشاورزی، افزایش نرخ روزافزون جمعیت و لزوم تأمین نیازهای غذایی انسان و دام، محققان را به انجام پژوهش‌های کاربردی در مورد استفاده بهینه آب منطبق بر نیاز واقعی گیاه سوق می‌دهد. در شرایط غیر استاندارد محیط کشت گیاه (تحت تنش)، مقدار جذب آب توسط گیاه، تعرق و تولید زیست‌توده گیاهی نسبت به شرایط پتانسیل (استاندارد) هر منطقه کاهش می‌یابد. بر این اساس یکی از واکنش‌های گیاهی نسبت به شرایط غیراستاندارد تنش‌های محیطی، کاهش جذب آب و تعرق گیاه می‌باشد. از جمله تنش‌های محیطی مؤثر بر واکنش‌های گیاهی، وجود املاح به‌خصوص عناصر مضر مانند سدیم و کلر (بیش از آستانه تحمل گیاه) در آب و خاک است، که موجب بروز تنش شوری می‌شوند. تنش شوری باعث کاهش پتانسیل آب خاک، کاهش جذب آب و عناصر غذایی توسط گیاه، افزایش مقاومت روزنه‌ای برگ‌ها و کاهش تعرق گیاه می‌شود (Saeidi et al., 2021). تاکنون مدل‌هایی برای شبیه‌سازی میزان کاهش جذب آب توسط گیاه در شرایط تنش‌های خشکی و شوری ارائه شده است. یکی از مدل‌های پایه در این باره مدل Dirksen and Augustijn (1988) است که بر اساس آن و مطابق رابطه (۱)، اگر خاک نتواند نیاز آبی گیاه را برای انجام حداکثر تعرق فراهم آورد، از میزان جذب آب به‌وسیله ریشه‌های گیاه کم شده و درنهایت باعث کاهش عملکرد محصول می‌شود.

$$S = \alpha(h) \times S_{\max} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در رابطه (۱)؛ S : میزان جذب واقعی آب توسط گیاه، $\alpha(h)$: ضریب کاهش جذب آب توسط گیاه در اثر کمبود آب خاک (تنش آبی) و S_{\max} : حداکثر میزان جذب آب به‌وسیله گیاه (در شرایط استاندارد) می‌باشد.

برای تعیین ضریب کاهش جذب آب (α) نسبت به مکش ماتریک خاک در شرایط تنش آبی، می‌توان از توابعی که توسط Van Genuchten (1987)، Dirksen and Augustijn (1988) و Homae et al (2002 a) ارائه شده است، استفاده نمود. حال اگر به‌جای ضریب $\alpha(h)$ ، ضریب کاهش جذب آب به‌صورت تابعی از پتانسیل اسمزی محلول خاک ($\alpha(\pi)$) در نظر گرفته شود، معادله جذب آب از خاک‌های شور به‌صورت رابطه (۲) خواهد بود (Feddes et al., 1978).

$$S = \alpha(\pi) \times S_{\max} \quad \text{رابطه (۲)}$$

لازم به‌ذکر است که مدل‌های شیب آستانه Mass and Hoffman (1977)، مدل سیگموئیدی Van Genuchten and Hoffman (1984)، Dirksen and Augustijn (1988) و Homae et al (2002 b)، از معروف‌ترین مدل‌های شبیه‌سازی جذب آب در خاک‌های شور می‌باشند و برای تعیین ضریب $\alpha(\pi)$ به‌کار می‌روند. تاکنون پژوهش‌های گسترده‌ای در مورد تعیین ضریب $\alpha(\pi)$ با استفاده از توابع کاهش جذب آب، بر روی گیاهان مختلف انجام شده است. در میان گیاهان، ذرت به‌لحاظ نقش راهبردی آن در تولید غذای انسان و دام و شیوه کشت آن به‌صورت آبی، مورد مناسبی می‌باشد تا میزان جذب واقعی آب توسط آن در شرایط تنش‌های محیطی مورد شبیه‌سازی قرار بگیرد (سعیدی، ۱۴۰۰ a). در این باره پژوهشی در منطقه باجگاه شیراز انجام شد و پاسخ گیاه ذرت به سطوح شوری آب آبیاری شامل ۰/۶، ۲ و ۴ دسی‌زیمنس بر متر بررسی شد. نتایج واسنجی و اعتبارسنجی توابع جذب آب نشان داد که مدل Homae and Feddes (1999) برآورد بهتری از ضریب کاهش جذب آب، نسبت به سایر توابع داشت (Azizian et al., 2015). در پژوهش دیگر که در دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد، اثر سه تیمار مصرف آب آبیاری شامل ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد (بر اساس نیاز آبی گیاه) بر روی ذرت بررسی شد. با هدف برنامه‌ریزی آبیاری و مدیریت بهینه آب در مزرعه، مدل‌های کاهش جذب آب در شرایط تنش آبی (تیمارهای مذکور) ارزیابی شدند. نتایج نشان داد که مدل Van Genuchten (1987) با شاخص‌های آماری $R^2 = 0/58$ و $RMSE = 0/1$ بهترین برازش را با داده‌های اندازه‌گیری شده واقعی داشته است (شیرمحمدی و همکاران، ۱۳۹۹).

در پژوهش‌های گذشته گزارش شد که دوره رشد ذرت شامل مراحل استقرار گیاهچه، مرحله رشد سریع، گرده افشانی و پُر شدن دانه‌ها است که از نظر فرآیندهای فیزیولوژیکی و حساسیت گیاه، متفاوت می‌باشند. از این رو کاربرد تنش‌های محیطی در هر یک از مراحل رشدی مذکور، تأثیر نابرابری بر روی کاهش مقدار جذب آب و عملکرد محصول خواهد داشت (Nielsen, 2002). در این باره و در پژوهشی، یک میزان تنش آبی ثابت به‌صورت جداگانه در مراحل رشد ۴ برگگی، ۱۲ برگگی، گل‌دهی و خمیری شدن دانه‌ها بر گیاه ذرت اعمال شد. نتایج نشان داد که بیش‌ترین تا کم‌ترین مقدار عملکرد محصول، به‌ترتیب مربوط به تیمارهای ۴ برگگی، خمیری شدن دانه، ۱۲ برگگی و گل‌دهی بوده و علت آن، میزان حساسیت و نیاز متفاوت گیاه ذرت به جذب آب در مراحل مختلف رشد بوده است (سعیدی و ستوده‌نیا، ۱۴۰۰). پر واضح است که به‌دلیل حساسیت متفاوت گیاه ذرت در مراحل رشد، شبیه‌سازی مقدار جذب آب با در نظر گرفتن یک ضریب

ثابت کاهش جذب آب $\alpha(\pi)$ در صورت اعمال تنش شوری، چندان به شرایط واقعی نزدیک نمی‌باشد. در اغلب پژوهش‌های گذشته (بابازاده و همکاران، ۱۳۹۵؛ حسینی و همکاران، ۱۳۹۷؛ سرائی تبریزی و همکاران، ۱۳۹۴ و ...) برای ارزیابی توابع کاهش جذب آب در شرایط تنش شوری، میزان فشار اسمزی (حد آستانه (π^*) ، ۵۰ درصد کاهش جذب (π_{50}) و ماکسیمم (π_{max})) و ضریب $\alpha(\pi)$ ، به صورت ثابت در کل دوره رشد در نظر گرفته شد و به حساسیت مراحل رشد گیاه توجهی نشد. اما در پژوهشی با اثر سطوح مختلف تنش شوری بر روی ذرت، مدل‌های کاهش جذب آب به گونه‌ای دیگر ارزیابی شدند. در این تحقیق مقادیر جذب آب و عملکرد گیاه در دو فصل بهار و پاییز، به صورت تیمارهای جداگانه در نظر گرفته شد تا حساسیت مرحله رشد نیز بررسی شود (بذرافشان و همکاران، ۱۳۹۸). در نتیجه باتوجه به حساسیت متفاوت گیاه به تنش شوری در مراحل مختلف رشد، میزان فشار اسمزی برای محدوده‌های π^* و π_{50} در هر مرحله رشد متفاوت خواهد بود.

از این رو هدف از پژوهش حاضر با عنوان بررسی اثر حساسیت مراحل رشد گیاه ذرت در کاربرد توابع کاهش جذب آب، در شرایط تنش شوری تعیین می‌شود. به طوری که در مراحل فنولوژیکی رشد گیاه، میزان فشار اسمزی ناشی از تنش شوری، در آستانه‌های مختلف به طور جداگانه برآورد شده و ضرایب مجزای $\alpha(\pi)$ در طول دوره رشد محاسبه می‌شود. در نهایت دو شیوه کاربرد توابع کاهش جذب آب یکبار با ضرایب جداگانه $\alpha(\pi)$ در مراحل رشد و یکبار با ضریب ثابت $\alpha(\pi)$ ، مورد مقایسه قرار می‌گیرند. تعیین ضریب $\alpha(\pi)$ برای هر مرحله رشد، تاکنون در پژوهش‌های گذشته گزارش نشده است و می‌تواند در شبیه‌سازی دقیق‌تر مقدار جذب آب توسط گیاه، مورد مطالعه و بررسی قرار بگیرد.

مواد و روش‌ها

کلیات طرح

در سال ۱۴۰۰ پژوهشی بر روی گیاه ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ انجام شد. محل انجام پژوهش، مزرعه تحقیقاتی گروه مهندسی آب دانشگاه بین‌المللی امام خمینی^(۵) (واقع در شهر قزوین) با موقعیت جغرافیایی $36^{\circ} 19' 23''$ عرض شمالی و $50^{\circ} 00' 38''$ طول شرقی بود. به منظور اعمال تنش شوری بر خاک و اندازه‌گیری میزان جذب آب در دوره رشد گیاه، بستر کشت در قالب مینی لایسیمترهای استوانه‌ای شکل با قطر ۴۰ و ارتفاع ۷۰ سانتی‌متر انتخاب شد تا کار اندازه‌گیری مقدار رطوبت جذب شده توسط گیاه امکان‌پذیر شود. به طور مشابه و در برخی پژوهش‌ها، از مینی لایسیمترهایی با ابعاد مذکور برای کشت ذرت استفاده شد (دهقانی سانج و همکاران، ۱۳۹۶؛ سعیدی، a ۱۴۰۱). برای کنترل مقدار آب داده شده به خاک (در فرآیند آبیاری) و اندازه‌گیری حجم و شوری زه‌آب خروجی، در کف هر مینی لایسیمترها از لوله‌های سوراخ‌دار و بستر شن (به عنوان زهکش) استفاده شد. خاک مورد نظر برای پر کردن مینی لایسیمترها، مخلوطی از خاک مزرعه، ماسه بادی و کود حیوانی با نسبت ۱، ۱ و ۳ بود که مشخصات آن در جدول (۱) ارائه شد. با اندازه‌گیری چگالی ظاهری خاک آماده کشت (شخم خورده) در شرایط طبیعی مزرعه، مقدار جرم مخصوص $1/36$ گرم بر سانتی‌متر مکعب برای خاک داخل مینی لایسیمتر مناسب دیده شد. از این رو با توجه به حجم هر مینی لایسیمتر، وزن مشخصی از خاک برای رسیدن به تراکم مذکور، در آن‌ها ریخته شد و از طریق غرقاب نمودن آن‌ها، از هر گونه نشست احتمالی خاک در دوره رشد گیاه جلوگیری شد.

جدول ۱- مشخصات خاک مینی لایسیمتر

| پارامتر | واحد | مقدار |
|------------------------------|-------------|---------|
| هدایت الکتریکی عصاره اشباع | $dS.m^{-1}$ | ۰/۵۳ |
| اسیدیته (pH) | - | ۷/۳ |
| بافت خاک | - | لوم شنی |
| رطوبت وزنی حد ظرفیت مزرعه | % | ۲۴/۵ |
| رطوبت وزنی نقطه پژمردگی دائم | % | ۱۰/۶ |
| جرم مخصوص ظاهری | $g.cm^{-3}$ | ۱/۳۶ |

بذرها در تاریخ ۱۶ اردیبهشت کاشته شد و برداشت محصول ذرت در تاریخ اول مهرماه انجام شد. فاصله زمانی بین کاشت تا برداشت محصول ۱۴۰ روز بود که ضمن توجه به رقم ذرت و اقلیم منطقه، بازه زمانی دوره رشد ذرت بر اساس گزارش نشریه فائو-۵۶ (Allen et

al., 1998) در داخل هر مینی لایسیمتر تعداد سه بذر به صورت دستی و با فواصل یکسان از هم کاشته شد. پس از جوانه زنی و رسیدن گیاهان به چهار برگ، بهترین گیاه برای اعمال تیمارها باقی ماند و سایر گیاهان از سطح خاک حذف شدند. پس از جوانه زنی بذور، برای حذف اثر تبخیر از سطح خاک و اندازه گیری میزان آب جذب شده توسط گیاه، از مالچ پلاستیکی با رنگ روشن و به صورت ورقه های نازک بر روی سطح خاک استفاده شد. همچنین برای جلوگیری از جذب گرمای تابشی خورشید توسط مالچ و انتقال آن به داخل خاک، مالچ پلاستیکی با فاصله (بسیار کمی) از سطح خاک قرار داده شد.

تیمارهای پژوهش

تیمارهای این پژوهش در قالب کاربرد هشت سطح شوری خاک و حساسیت چهار دوره رشد گیاه ذرت بود، که اثر آن ها بر میزان آب جذب شده توسط گیاه بررسی شد. سطوح شوری شامل هدایت الکتریکی (S₁) ۰/۵، (S₂) ۱/۷، (S₃) ۲/۵، (S₄) ۳/۵، (S₅) ۴/۵، (S₆) ۵/۵، (S₇) ۶/۵ و (S₈) ۷/۵ دسی زیمنس بر متر بود که بر خاک منطقه ریشه گیاه اعمال شد. S₁ سطح شوری قابل تحمل، S₂ آستانه تحمل ذرت به شوری خاک بر اساس گزارش نشریه فائو-۲۹ (Ayers and Westcot, 1985) و S₃ تا S₈ سطوح تحت تنش شوری بودند. تیمارهای مراحل رشد نیز در قالب چهار مرحله رشد اولیه (P₁)، توسعه (P₂)، آمیانی (P₃) و پایانی (P₄) ذرت در نظر گرفته شد. بر اساس تعاریف مذکور، تیمارهای مرحله رشد گیاه ذرت (چهار دوره رشد) به ترتیب برابر با ۲۵، ۴۰، ۴۵ و ۳۰ روز (مجموعاً ۱۴۰ روز) تطبیق داده شد. به طور کلی آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی، با ۳۲ تیمار و سه تکرار اجرا شد، که نقشه اجرای آن در شکل (۱) آورده شد.



شکل ۱- نقشه اجرای طرح پژوهش (تیمارها و تکرارها)

تنش شوری از طریق آب آبیاری بر خاک اعمال شد. به این صورت که در تیمار S₁ از آب با کیفیت چاه (با شوری ۰/۵ دسی زیمنس بر متر) استفاده شد و از ترکیب آب چاه با زه آب خارج شده از زهکش حائل شوره زار منطقه آبیگ قزوین، سطوح دیگر شوری (S₂ تا S₈) تولید شد (جدول ۲). روش کار این بود که در زمان اعمال تیمارهای شوری، اولین آبیاری با هدف شور شدن عصاره اشباع خاک در حد تیمار مد نظر انجام شد. برای این منظور، ابتدا خروجی مینی لایسیمتر بسته شد و پس از اشباع شدن خاک با آب لب شور مورد نظر، حدود سه ساعت فرصت داده شد تا خاک بستر کشت، آب را در بر داشته باشد. سپس خروجی مینی لایسیمتر باز شد و با اندازه گیری شوری زه آب (متعادل شده)، اطمینان حاصل شد که شوری مدنظر به خاک منطقه فعالیت ریشه گیاه اعمال شده است. پر واضح بود که آبیاری پیوسته با آب لب شور باعث تجمع نمک ها در خاک و افزایش شوری خاک پس از هر نوبت آبیاری می شد. از این رو برای اعمال صحیح تنش ها، شوری خاک (در سطوح تیمارهای S₁ تا S₈) در حد امکان و از طریق کنترل کسر آبشویی، در طول دوره رشد گیاه ثابت نگه داشته شد. اعمال تنش شوری در زمانی تأیید شد که میزان شوری زه آب خروجی از مینی لایسیمتر با شوری آب ورودی در آن، به تعادل رسیده باشند.

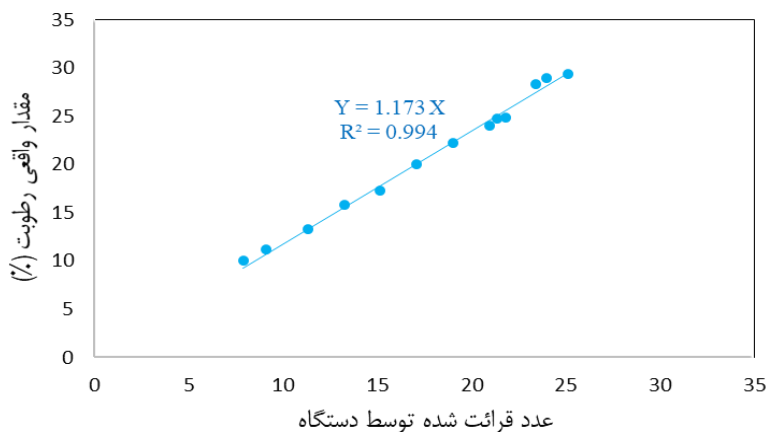
جدول ۲- ویژگی های شیمیایی منابع آب مورد استفاده در پژوهش

| منابع آب | هدایت الکتریکی (dS.m ⁻¹) | سدیم (meq.L ⁻¹) | منیزیم (meq.L ⁻¹) | کلسیم (meq.L ⁻¹) | پتاسیم (meq.L ⁻¹) | سولفات (meq.L ⁻¹) | بی کربنات (meq.L ⁻¹) | کربنات (meq.L ⁻¹) | کلر (meq.L ⁻¹) |
|------------|--------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| آب چاه | ۰/۵ | ۲/۳۶ | ۰/۸۸ | ۱/۳۵ | ۰/۲ | ۱/۴۲ | ۱/۱۲ | ۰/۴۱ | ۱/۷۴ |
| زه آب زهکش | ۲۰۴ | ۱۱۴۱/۸ | ۳۲۱/۸۴ | ۴۸۴/۳ | ۱۱/۹ | ۶۳۶/۶ | ۴۵۱ | ۵۱/۶۲ | ۷۸۱/۶۴ |

- 1-Initial stage
- 2-Development stage
- 3-Mid stage
- 4-Late stage

زمان، حجم و مقدار جذب آب آبیاری

مقدار رطوبت روزانه خاک توسط دستگاه رطوبت‌سنج ساخت شرکت دلتانی (ΔT) مدل HH₂، در مرکز سطح هر مینی‌لایسیمتر و در عمق توسعه ریشه گیاه اندازه‌گیری شد. در مورد نحوه تشخیص عمق توسعه ریشه گیاه، مینی‌لایسیمترهای جداگانه‌ای طی مراحل مختلف رشد گیاه در نظر گرفته شد و با خارج کردن ریشه گیاه از خاک، عمق آن‌ها اندازه‌گیری شد. در مورد نحوه کار با دستگاه رطوبت‌سنج نیز قبل از شروع آزمایش، اعداد ثبت شده توسط دستگاه مذکور نسبت به مقادیر واقعی رطوبت خاک واسنجی شد. به این صورت که در یک نمودار، داده‌های واقعی رطوبت خاک در محور عمودی و داده‌های ثبت شده توسط دستگاه در محور افقی قرار داده شد و منحنی اِشِل (با معادله مشخص) برای تبدیل داده‌های دستگاه به داده‌های واقعی رطوبت تهیه شد (شکل ۲).



شکل ۲- منحنی واسنجی مقادیر واقعی رطوبت خاک، نسبت به اعداد قرائت شده توسط دستگاه

با هدف این که هیچ‌گونه تنش آبی بر گیاهان اعمال نشود، زمان انجام آبیاری طوری انتخاب شد که حتی در مراحل حساس رشد نیز، آب به صورت سهل الوصول در دسترس گیاه باشد. در این باره در پژوهشی در منطقه قزوین، حد آب سهل الوصول خاک (RAW) در مراحل مختلف رشد گیاه ذرت بین ۴۰ تا ۸۰ درصد در نظر گرفته شد (سعیدی، ۱۴۰۰). از این رو پس از تخلیه ۴۰ درصد از رطوبت بین دو حد ظرفیت مزرعه (FC^2) و نقطه پژمردگی دائم (PWP^3) در خاک تیمارها، عملیات آبیاری انجام شد. درصد رطوبت وزنی خاک در حد FC و PWP با استفاده از دستگاه صفحات فشاری (به ترتیب تحت فشارهای مکشی یک‌سوم و ۱۵ اتمسفر) و خشک کردن خاک در گرم‌خانه، محاسبه و در جدول (۱) ارائه شد. برای اندازه‌گیری مقدار پارامتر RAW نیز از رابطه (۳) استفاده شد.

$$RAW = \frac{\theta_{FC} - \theta_m}{\theta_{FC} - \theta_{PWP}} \quad \text{رابطه (۳)}$$

در رابطه (۳)، RAW: معرف میزان آب سهل الوصول خاک، θ_m : مقدار رطوبت وزنی خاک (درصد) قبل از انجام آبیاری (پس از تخلیه مجاز ۴۰ درصد بین دو حد FC و PWP)، θ_{FC} : رطوبت وزنی خاک در حد ظرفیت مزرعه (درصد) و θ_{PWP} : رطوبت وزنی خاک در حد نقطه پژمردگی دائم (درصد) می‌باشد.

هدف از انجام آبیاری در این پژوهش، جبران کمبود رطوبت خاک و اعمال تنش شوری تیمار مد نظر بر خاک بود. با توجه به مقدار کمبود رطوبت خاک ($\theta_{FC} - \theta_m$) در زمان آبیاری، جرم مخصوص خاک، عمق ریشه، کسر آبشویی و مساحت سطح خاک در هر مینی‌لایسیمتر، حجم آب آبیاری بر اساس رابطه (۴) تعیین شد. در این شرایط آب خروجی از انتهای مینی‌لایسیمترها (نیاز آبشویی) بابت شستشوی املاح تجمع یافته در خاک (حاصل از آبیاری قبلی) و تعادل شوری خاک در حد تیمار مد نظر بوده است.

$$V_I = \left[\frac{(\theta_{FC} - \theta_m)}{100} \times \rho b \times D \times A \right] \times (1 + LF) \quad \text{رابطه (۴)}$$

V_I : حجم آب آبیاری (متر مکعب)، ρb : جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب)، D : عمق توسعه ریشه (متر)، A : مساحت سطح خاک (متر مربع) و LF : کسر آبشویی خاک بود که بر اساس توضیحات قبلی، ۰/۵ در نظر گرفته شد.

با اندازه‌گیری و احتساب حجم آب آبیاری، حجم زه‌آب و حد تخلیه مجاز رطوبت خاک، از رابطه (۵) برای برآورد میزان عمق آب

1 - Readily available water, RAW

2 - Field capacity, FC

3- Permanent wilting point, PWP

جذب شده توسط گیاه (در فاصله بین دو آبیاری) استفاده شد. با توجه به حذف اثر تبخیر از سطح مینی لایسیمترها، عمق آب مدنظر، بیانگر میزان تعرق گیاه نیز بوده است. به طور کلی برنامه ریزی آبیاری بر اساس جدول (۳) تنظیم شد. در جدول (۳) با افزایش تنش شوری خاک، دوره های آبیاری طولانی تر شد که نشان دهنده اثر تنش شوری بر کاهش جذب آب توسط گیاه بود.

$$T_r = \left(\frac{V_1 - V_d}{A} \right) - \left(\frac{\theta_m}{100} \times \rho b \times D \right) \quad \text{رابطه (۵)}$$

در رابطه (۵)، T_r : مقدار عمق آب جذب شده توسط گیاه (متر) و V_d : حجم زه آب خروجی از مینی لایسیمتر بعد از آبیاری (متر مکعب)

بود.

جدول ۳- برنامه ریزی آبیاری در تیمارهای مختلف

| تیمار | تعداد آبیاری | متوسط حجم آب مصرفی بدون آیشویی در هر آبیاری ($m^3 \cdot ha^{-1}$) | متوسط حجم آب مصرفی با احتساب آیشویی ($m^3 \cdot ha^{-1}$) | حجم آب مصرفی ($m^3 \cdot ha^{-1}$) با احتساب آیشویی، در کل دوره رشد |
|----------------|--------------|---|---|---|
| S ₁ | ۱۵ | ۵۲۹ | ۷۹۴ | ۱۱۹۱۰ |
| S ₂ | ۱۵ | ۵۲۹ | ۷۹۴ | ۱۱۹۱۰ |
| S ₃ | ۱۴ | ۵۲۹ | ۷۹۴ | ۱۱۱۱۶ |
| S ₄ | ۱۳ | ۵۲۹ | ۷۹۴ | ۱۰۳۲۲ |
| S ₅ | ۱۲ | ۵۲۹ | ۷۹۴ | ۹۵۲۸ |
| S ₆ | ۱۰ | ۵۲۹ | ۷۹۴ | ۷۹۴۰ |
| S ₇ | ۸ | ۵۲۹ | ۷۹۴ | ۶۳۵۲ |
| S ₈ | ۶ | ۵۲۹ | ۷۹۴ | ۴۷۶۴ |

توابع کاربردی

به منظور شبیه سازی میزان کاهش جذب آب در شرایط کاربرد تنش شوری، از توابع کاهش جذب آب که معادلات آن به شرح روابط (۶) الی (۹) است، استفاده شد. روابط (۶)، (۷)، (۸) و (۹) به نام مدل های ون گنوختن (Van Genuchten, 1987)، ون گنوختن- هافمن (Van Genuchten and Hoffman, 1984)، دیرکسن- آگوستیجن (Dirksen and Augustijn, 1988) و مدل خطی ماس- هافمن (Maas and Hoffman, 1977) نامیده می شوند. در این پژوهش کاربرد مدل های مذکور یک بار برای کل دوره رشد و بار دیگر با در نظر گرفتن حساسیت هر یک از مراحل رشد انجام شد و در نهایت کارایی آن ها با یکدیگر مقایسه شد. روش کار به این صورت بود که فرایند واسنجی مدل ها با استفاده از داده های واقعی α در تیمارهای S₁, S₃, S₅ و S₇ انجام شد و ارزیابی مدل ها نیز با هدف تخمین مقادیر واقعی α در تیمارهای S₂, S₄, S₆ و S₈ صورت گرفت.

به این منظور در واسنجی مدل ها، یک بار ضرایب آن ها به طور متوسط برای کل دوره رشد و بار دیگر برای هر یک از ۴ مرحله رشد به طور جداگانه برآورد شد. ضرایب مجهول a و P توسط نرم افزار SPSS و ضریب b برای شرایط واقعی، برآورد شد. در مرحله بعد با استفاده از مدل های واسنجی شده، اقدام به شبیه سازی مقادیر واقعی α در تیمارهای S₂, S₄, S₆ و S₈ شد تا صحت عملکرد آن ها بررسی شود. در مرحله صحت سنجی، داده های α که به دو صورت مشاهده ای (واقعی) و پیش بینی شده توسط مدل ها (روابط ۶ الی ۹) بود، با یکدیگر مقایسه شد و اعتبار مدل های مختلف ارزیابی شد. برای این کار از آماره های ارزیابی شامل حداکثر خطا (ME)^۱، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)^۲، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE)^۳، ضریب تبیین (R²)^۴، کارایی مدل سازی (EF)^۵ و ضریب باقیمانده (CRM)^۶ استفاده شد. معادلات مربوط به آماره های مذکور در روابط (۱۱) الی (۱۶) ارائه شد. وجود حداقل مقدار (نزدیک به صفر) برای آماره های RMSE، NRMSE، ME و CRM و مقدار نزدیک به یک برای آماره های R² و EF در هر مدل، نشان دهنده بهینه بودن آن مدل برای برآورد مقادیر α بود. در روابط (۱۱) الی (۱۶)، حروف a ، O^y و P^a به ترتیب بیان گر تعداد تیمارها، داده های مشاهده ای و پیش بینی

1- Maximum error, ME

2 - Root of mean squared error, RMSE

3 -Normalized Root of mean squared error, NRMSE

4 - Coefficient of determination, R²

5 - Efficiency of modeling, EF

6 - Coefficient of residual mass, CRM

7 - Observed, O

8 - Predicted, P

شده α توسط مدل‌ها بود.

جدول ۴- روابط توابع (مدل‌های) کاربردی و آماره‌های ارزیابی توابع

| معادله مربوطه | شماره رابطه |
|--|-------------|
| $\alpha(\pi) = \frac{1}{1 + \left(\frac{a\pi}{\pi_{50}}\right)^b}$ | ۶ |
| $\alpha(\pi) = \frac{1}{1 + \left[\frac{\pi}{\pi_{50}}\right]^b}$ | ۷ |
| $\alpha(\pi) = \frac{1}{1 + \left[\frac{\pi^* - \pi}{\pi^* - \pi_{50}}\right]^b}$ | ۸ |
| $\alpha(\pi) = \left[1 - \frac{b}{360}(\pi^* - \pi)\right]$ | ۹ |
| $\pi = -3.6 \times EC_c$ | ۱۰ |
| $ME = \max P_i - O_i _{i=1}^n$ | ۱۱ |
| $RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}\right]^{\frac{1}{2}}$ | ۱۲ |
| $NRMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}\right]^{\frac{1}{2}} \times \frac{100}{O}$ | ۱۳ |
| $R^2 = \frac{(\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O}) \cdot (P_i - \bar{P}))^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}$ | ۱۴ |
| $EF = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}$ | ۱۵ |
| $CRM = \frac{\sum_{i=1}^n O_i - \sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n O_i}$ | ۱۶ |

در روابط (۶) الی (۹)، $\alpha(\pi)$: تابع کاهش جذب آب است که مقدار واقعی آن برابر با میزان آب جذب شده توسط گیاه در شرایط غیر استاندارد (تنش شوری) نسبت به شرایط استاندارد (بدون تنش) می‌باشد. π : پتانسیل اسمزی ناشی از تنش شوری (سانتی‌متر)، a : ضریب تجربی برای پتانسیل اسمزی در مدل ون‌گنوختن، π_{50} : میزان پتانسیل اسمزی به‌ازاء نصف شدن میزان جذب آب (سانتی‌متر)، P : ضریب تجربی وابسته به خاک، گیاه و اقلیم (Homaee et al., 2002)، π^* : پتانسیل اسمزی در آستانه کاهش جذب آب توسط گیاه (سانتی‌متر) و b : میزان درصد کاهش جذب آب به‌ازاء افزایش یک واحد شوری (دسی‌زیمنس بر متر) نسبت به آستانه تحمل گیاه می‌باشد. با توجه به حساسیت متفاوت گیاه به اعمال تنش شوری در مراحل مختلف رشد، میزان پتانسیل اسمزی در دو حد π_{50} و π^* به‌صورت جداگانه در مراحل رشد و ثابت در کل دوره رشد، به‌شرح جدول (۵) اندازه‌گیری شد.

جدول ۵- میزان پتانسیل اسمزی در حد آستانه و ۵۰ درصد کاهش جذب آب

| حد پتانسیل اسمزی | مرحله رشد P_1 | مرحله رشد P_2 | مرحله رشد P_3 | مرحله رشد P_4 | کل دوره رشد |
|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------|
| π^* | ۵۹۴ | ۵۴۰ | ۵۰۴ | ۶۴۸ | ۵۷۶ |
| π_{50} | ۲۷۰۰ | ۲۴۴۸ | ۲۱۲۴ | ۲۹۸۸ | ۲۶۲۸ |

نتایج و بحث

میزان جذب آب

در این پژوهش اثر حساسیت چهار مرحله رشد گیاه (P_1 تا P_4) و هشت سطح شوری خاک (S_1 تا S_8)، بر میزان آب جذب شده توسط گیاه ذرت بررسی شد. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در جدول (۶) نشان داد که اثر هر یک از فاکتورهای مرحله رشد و تنش شوری بر میزان جذب آب، در سطح یک درصد و اثر متقابل آن‌ها در سطح پنج درصد معنی‌دار بوده است. در پژوهشی مشابه بر روی ذرت گزارش شد که در شرایط کاربرد تنش شوری، پتانسیل آب خاک کاهش یافته و این امر باعث کاهش جذب آب و در نتیجه کاهش تعرق توسط گیاه می‌شود. همچنین وجود عناصری مانند سدیم و کلر در آب شور، اثری سمی بر روی گیاه داشته و موجب اختلال در فرآیندهای گرده‌افشانی و باروری گیاه می‌شود. از سوی دیگر ذکر شد که اثر غالب تنش شوری بر تعرق گیاه ذرت، در مراحل رشد توسعه و میانی بوده است (سعیدی، ۱۴۰۱b). با توجه به دلایل مذکور، در پژوهش حاضر نیز افزایش تنش شوری باعث کاهش جذب آب توسط گیاه شد که میزان آن در طول دوره رشد متفاوت بود.

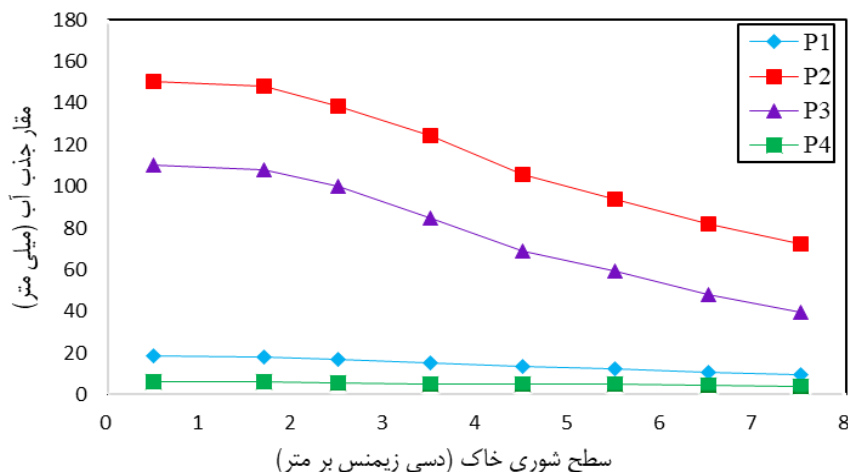
جدول ۶- تجزیه واریانس صفت مورد بررسی در طرح

| میانگین مربعات | درجه آزادی | منبع تغییرات |
|----------------------|------------|----------------------|
| جذب آب | | |
| ۶/۳ ^{ns} | ۲ | تکرار |
| ۴۶۱۱۰ ^{**} | ۳ | مرحله رشد |
| ۴۵۴۷/۶ ^{**} | ۷ | تنش شوری |
| ۱۱۹۰/۵ [*] | ۲۱ | تنش شوری × مرحله رشد |
| ۰/۸۳ | ۶۲ | خطا |

ns، ** و * : به ترتیب عدم تفاوت معنی دار و تفاوت معنی دار در سطح احتمال یک و پنج درصد

در بخش دیگر، مقادیر جذب آب در سطوح مختلف شوری خاک و مراحل رشد گیاه، به صورت نمودار در شکل (۳) آورده شد. مقادیر جذب آب توسط گیاه در تیمارهای S₁ تا S₈ به ترتیب برابر با ۱۸، ۱۷، ۱۵/۵، ۱۳/۵، ۱۲/۶، ۱۰/۸ و ۹/۷ میلی متر (در مرحله اولیه رشد)، ۱۵۰/۲، ۱۴۸/۱، ۱۳۸/۷، ۱۲۴/۳، ۱۰۵/۵، ۹۳/۹، ۸۲/۲ و ۷۲/۳ میلی متر (در مرحله توسعه)، ۱۱۰/۲، ۱۰۸، ۱۰۰، ۸۴/۶، ۶۸/۸، ۵۹/۶، ۴۸/۱ و ۳۹/۸ میلی متر (در مرحله میانی رشد) و ۶، ۶، ۵/۷، ۵/۳، ۵/۱، ۴/۸، ۴/۵ و ۴/۲ میلی متر (در مرحله پایانی رشد) برآورد شد. نتایج نشان داد که بیشترین تا کمترین میزان جذب آب گیاه مربوط به مراحل رشد توسعه (P₂)، میانی (P₃)، اولیه (P₁) و پایانی (P₄) بود. نیازهای متفاوت به جذب آب در مراحل مختلف رشد به این دلیل بود که مرحله اولیه رشد، از جوانه زنی بذر تا پوشیدگی ۱۰ درصدی سطح زمین را شامل می شود. از این رو بسته به نیاز گیاه، آب کمتری توسط گیاه جذب می شود. در مراحل توسعه و میانی رشد، به علت پوشیده شده کامل سطح زمین توسط گیاه، تکمیل رشد، گل دهی و باروری گیاه، بیشترین نیاز به جذب آب وجود دارد. در مرحله پایانی رشد نیز به دلیل رسیدگی بیولوژیک گیاه، کاهش هدایت روزنه ای برگ ها و آمادگی محصول برای برداشت، تعرق چندان وجود نداشته و جذب آب از همه مراحل رشد کمتر می باشد. به طور مشابه در پژوهشی در کشور چین گزارش شد که نسبت تعرق به تبخیر-تعرق ذرت (T/ET) در کل دوره ی رشد گیاه به میزان ۵۳ درصد و در دوره ی گل دهی تا بلوغ گیاه، مقدار ۶۳/۳ درصد بود، که در دوره ی پایانی رشد از مقدار T/ET کاسته شد (Zhou et al., 2017). بر همین اساس بود که اثر محسوس افزایش تنش شوری خاک بر کاهش جذب آب، بیشتر در مراحل رشد P₂ و P₃ دیده شد. به طوری که کمترین هم پوشانی بین داده ها در شکل (۳)، در مراحل P₂ و P₃ و بیشترین هم پوشانی در مراحل P₁ و P₄ مشاهده شد.

به منظور بررسی حساسیت مراحل مختلف رشد به تنش شوری، شدت کاهش جذب آب در اثر افزایش شوری خاک (از تیمار S₁ تا S₈) برآورد شد. نتایج نشان داد که به ازای افزایش هر یک دسی زیمنس بر متر شوری خاک در مراحل رشد P₁ تا P₄، به ترتیب مقدار ۶/۸۱، ۷/۴، ۹/۱۳ و ۴/۲۵ درصد از جذب آب توسط گیاه (نسبت به تیمار S₁) کاهش یافته است. در حالی که میزان جذب آب در کل دوره رشد گیاه با شیب ۷/۹ درصد (از تیمار S₁ تا S₈) کاهش داشته است. از این رو در یک حد تنش شوری ثابت، میزان کاهش جذب آب در طول دوره رشد گیاه ثابت نبوده و مراحل رشد P₁، P₂، P₃ و P₄ به ترتیب بیشترین تا کمترین حساسیت را به تنش شوری نشان دادند. پژوهش چندان درباره بررسی جذب آب در مراحل مختلف رشد و در شرایط کاربرد تنش شوری گزارش نشده است. بلکه در اغلب پژوهش های گذشته، میزان جذب آب توسط گیاه در کل دوره رشد مطالعه شده است. به طوری که در منطقه باجگاه شیراز پژوهشی بر روی ذرت تحت سطوح شوری آب شامل (S₁) ۰/۶، (S₂) ۲ و (S₃) ۴ دسی زیمنس بر متر انجام شد. در تیمارهای S₁ تا S₃ مقادیر تعرق گیاه در کل دوره رشد ذرت به ترتیب برابر با ۵۷۸، ۵۴۷ و ۵۱۰ میلی متر برآورد شد (Azizian and Sepaskhah, 2014). پژوهش مذکور مؤید کاهش میزان جذب آب توسط گیاه در شرایط اعمال تنش شوری بود، که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت داشت. در پژوهشی در منطقه قزوین، گیاه ذرت از طریق انجام آبیاری پیوسته با آب دارای سطوح شوری (S₀) ۰/۵، (S₁) ۲/۱، (S₂) ۳/۵ و (S₃) ۵/۷ دسی زیمنس بر متر، تحت تنش شوری قرار گرفت. مقدار تعرق گیاه از تیمار S₀ تا S₃ به ترتیب برابر با ۲۸۹، ۲۶۸ و ۲۱۹ میلی متر گزارش شد. نتایج نشان داد که به ازای افزایش هر یک دسی زیمنس بر متر شوری آب آبیاری (که منجر به تجمع نمک ها در خاک می شد)، حدود ۹ درصد از میزان کل تعرق گیاه (نسبت به شرایط استاندارد تیمار S₀) کاسته شد (سعیدی، ۱۴۰۱). نتایج پژوهش مذکور نیز از جهت کاهش جذب آب در تیمارهای تحت تنش شوری، به نتایج پژوهش حاضر نزدیک بود. به طور کلی نتایج این بخش از پژوهش نشان داد که تنش شوری موجب کاهش راندمان جذب و مصرف آب توسط گیاه شد و اثر آن در مراحل مختلف رشد گیاه، متفاوت بود. از این رو توصیه می شود که برنامه ریزان آبیاری برای کاهش اتلاف آب آبیاری در شرایط اعمال تنش شوری، مقدار آب مصرفی را مطابق با نیاز آبی واقعی گیاه در مراحل مختلف رشد تعیین کنند.



شکل ۳- نمودار مقایسه مقادیر جذب آب، در مراحل مختلف رشد و سطوح متفاوت شوری

کاربرد توابع با ضرایب ثابت و متغیر در دوره رشد

از طریق اندازه‌گیری داده‌های واقعی جذب آب (در شرایط استاندارد و تحت تنش)، مقدار $\alpha(\pi)$ برای تیمارهای S_1, S_3, S_5 و S_7 محاسبه شد. سپس با استفاده از مقدار $\alpha(\pi)$ ، اقدام به واسنجی و تعیین ضرایب a, P و b در مدل‌های (۶) الی (۹) شد. با توجه به میزان متفاوت جذب آب توسط گیاه در مراحل رشد، ضرایب مذکور یک‌بار به‌طور جداگانه در چهار مرحله رشد (P_1 تا P_4) و بار دیگر به‌طور ثابت در کل دوره رشد، برآورد و در جدول (۷) ارائه شد. داده‌های جدول (۷) نشان داد که در یک مدل مشخص، ضرایب تابع در هر یک از مراحل رشد و در کل دوره رشد، با یکدیگر تفاوت داشت. در برخی از مدل‌ها مانند (۶) و (۹)، بیشتر بودن حساسیت مرحله رشد گیاه به تنش شوری (مراحل رشد P_2 و P_3) موجب افزایش مقدار ضرایب a, P و b نسبت به سایر مراحل رشد شد. در این صورت می‌توان نتیجه گرفت که ضرایب ثابتی که برای کل دوره رشد گیاه برآورد می‌شوند، از دقت کافی برای تعیین میزان جذب آب در هر یک از مراحل رشد، برخوردار نیستند.

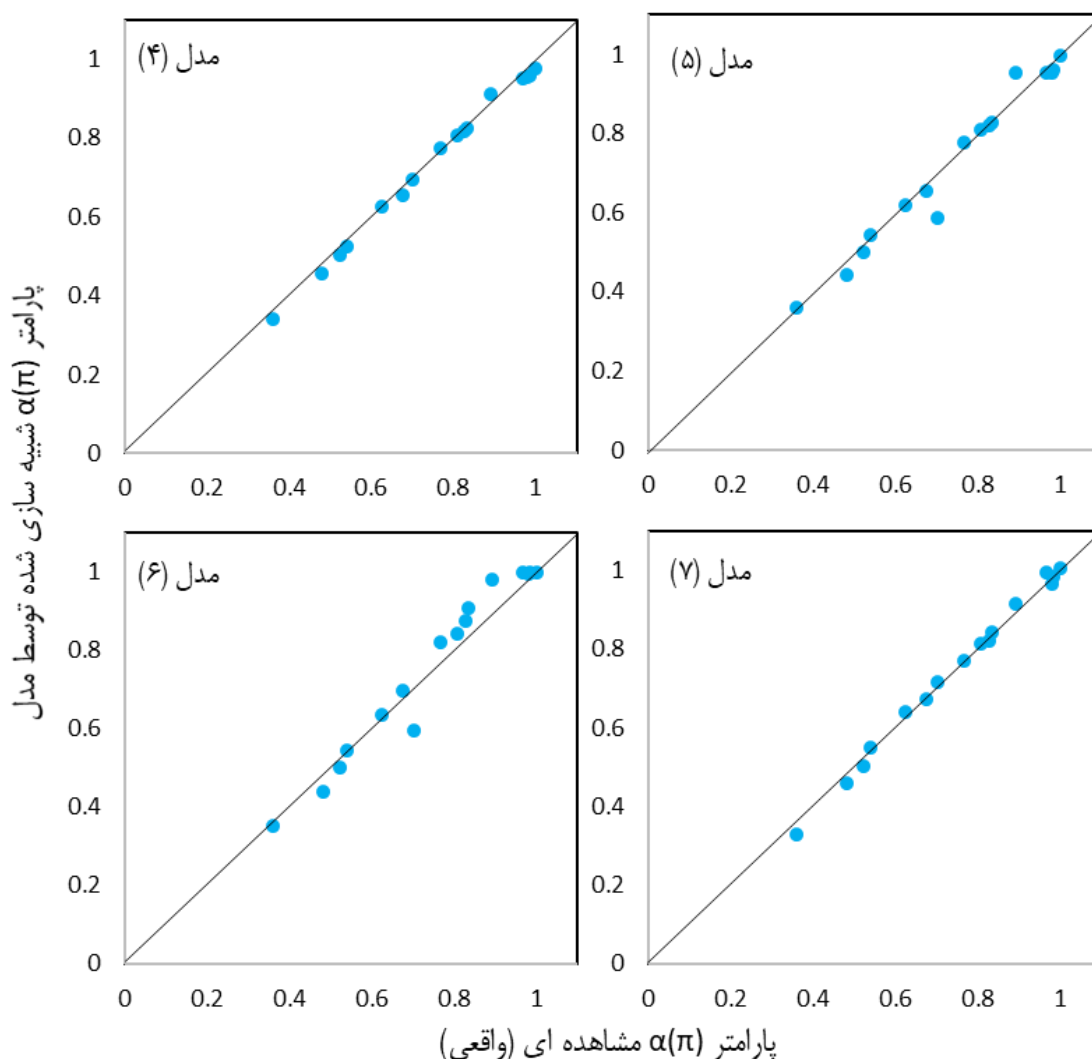
جدول ۷- واسنجی ضرایب توابع کاهش جذب آب، برای شرایط اعمال تنش شوری در مراحل رشد گیاه

| معادله مدل | $\alpha(\pi) = \frac{1}{1 + \left(\frac{\pi}{\pi_{50}}\right)^p}$ | $\alpha(\pi) = \frac{1}{1 + \left(\frac{\pi}{\pi_{50}}\right)^p}$ | $\alpha(\pi) = \frac{1}{1 + \left(\frac{\pi - \pi_{50}}{\pi_{50}}\right)^p}$ | $\alpha(\pi) = \left[1 - \frac{b}{360}(\pi^* - \pi)\right]^a$ | شماره رابطه (مدل) |
|-------------------|---|---|--|---|-------------------|
| | ۶ | ۷ | ۸ | ۹ | |
| مرحله رشد P_1 | ۰/۹۹۲ | - | - | - | a |
| مرحله رشد P_2 | ۰/۹۷۹ | - | - | - | |
| مرحله رشد P_3 | ۱/۰۲۷ | - | - | - | |
| مرحله رشد P_4 | ۰/۷۳۱ | - | - | - | |
| متوسط کل دوره رشد | ۱/۱۲۳ | - | - | - | |
| مرحله رشد P_1 | ۲/۰۲ | ۲/۰۴۸ | ۲/۱ | - | P |
| مرحله رشد P_2 | ۲/۲۰۸ | ۲/۲۹۲ | ۲/۳۵ | - | |
| مرحله رشد P_3 | ۲/۴۸۹ | ۲/۳۹۷ | ۲/۶۴ | - | |
| مرحله رشد P_4 | ۱/۹۸۱ | ۲/۴۹۵ | ۳/۰۲ | - | |
| متوسط کل دوره رشد | ۲/۲۸۶ | ۱/۸۵۱ | ۲ | - | |
| مرحله رشد P_1 | - | - | - | ۰/۰۸۵ | b |
| مرحله رشد P_2 | - | - | - | ۰/۰۹ | |
| مرحله رشد P_3 | - | - | - | ۰/۱۱ | |
| مرحله رشد P_4 | - | - | - | ۰/۰۵ | |
| متوسط کل دوره رشد | - | - | - | ۰/۰۴۸ | |

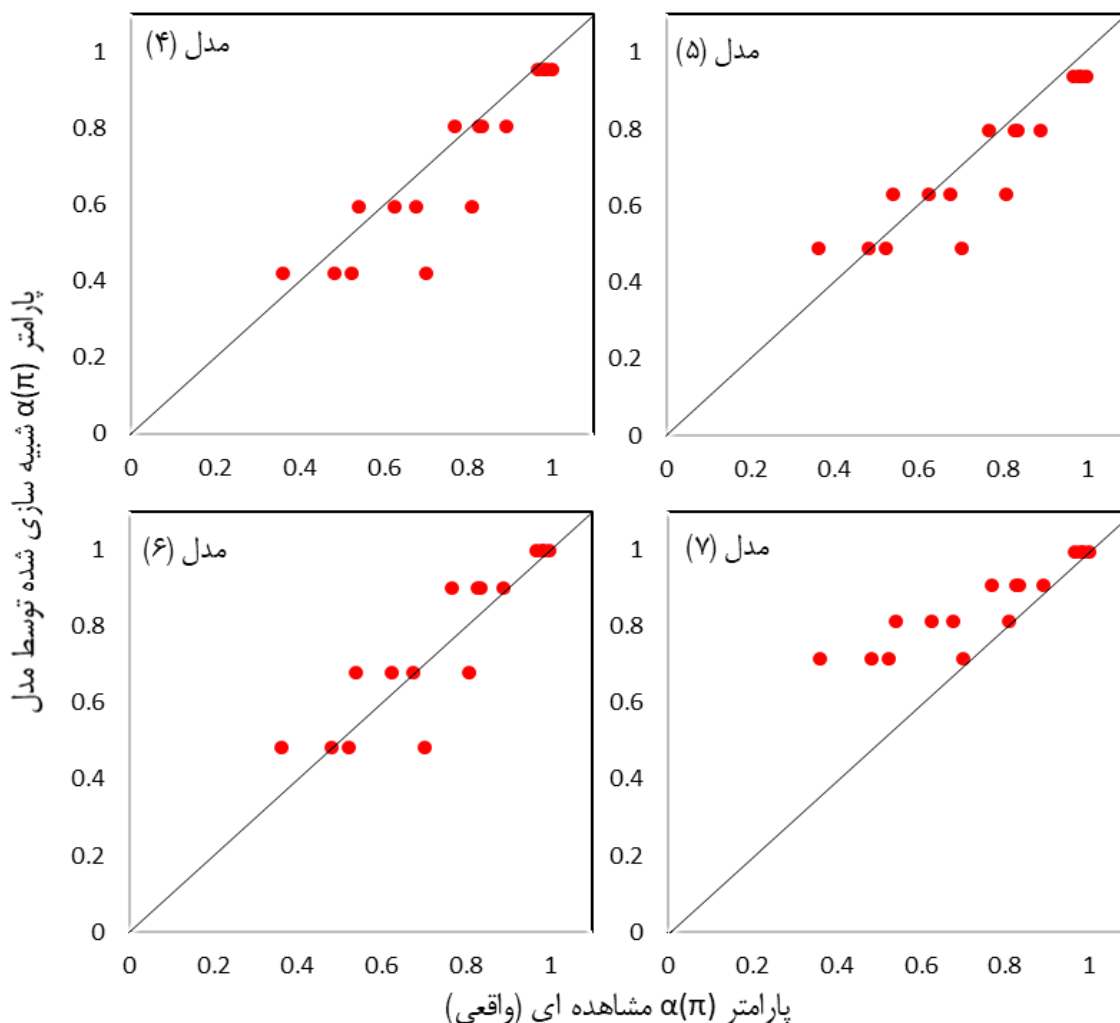
در بخش دیگر پژوهش، صحت و دقت ضرایب a, P و b که مطابق جدول (۷) برآورد شده بود، مورد ارزیابی قرار گرفت. برای این کار با استفاده از ضرایب مذکور، مقدار $\alpha(\pi)$ برای تیمارهای S_2, S_4, S_6 و S_8 شبیه‌سازی شد. تخمین مقدار $\alpha(\pi)$ در تیمارهای مذکور، یک‌بار

با استفاده از ضرایب جداگانه در مراحل رشد و یک‌بار هم با ضریب ثابت در کل دوره رشد انجام شد. سپس ارزیابی شد که کدام یک از شیوه‌های کاربرد ضرایب در توابع جذب آب، می‌تواند میزان دقیق‌تری از کاهش جذب آب را (در طول دوره رشد) شبیه‌سازی نماید. به این منظور مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده $\alpha(\pi)$ در تیمارهای S_2, S_4, S_6 و S_8 مورد مقایسه قرار گرفت و از طریق پارامترهای آماری در جدول (۸)، اعتبار مدل‌سازی‌ها ارزیابی شده و تابع بهینه تعیین شد. مقادیر پارامترهای آماری در جدول (۸) نشان داد که در مورد انتخاب مدل‌های بهینه، اولویت شماره یک تا چهار به شیوه کاربرد ضرایب جداگانه در مراحل رشد و اولویت شماره پنج تا هشت به شیوه کاربرد ضریب ثابت در دوره رشد داده شد. یعنی با استفاده از ضرایب مجزا برای هر مرحله رشد، پیش‌بینی دقیق‌تری از میزان کاهش جذب آب در شرایط اعمال تنش شوری انجام شد.

از سوی دیگر در بین مدل‌های مختلف (روابط ۶ الی ۹) اولویت مدل بهینه به ترتیب به مدل‌های خطی ماس-هافمن (رابطه ۹)، ون گنوختن (رابطه ۶)، ون گنوختن- هافمن (رابطه ۷) و دیرکسن-آگوستیجن (رابطه ۸) داده شد. آماره CRM نشان داد که مدل‌های دیرکسن-آگوستیجن و ماس-هافمن، بیش برآوردکننده داده‌ها و مدل‌های ون گنوختن و ون گنوختن- هافمن، کم برآوردکننده داده‌ها بوده‌اند. آماره‌های R^2 و EF نشان‌دهنده همبستگی مطلوب بین داده‌های واقعی و پیش‌بینی شده و کارایی قابل قبول مدل‌سازی در مدل‌های منتخب بودند. هم‌چنین کم‌تر از ۰/۱ بودن مقدار حداکثر خطا (ME) و نزدیک به صفر بودن مقادیر RMSE و NRMSE در مدل‌های ماس-هافمن و ون گنوختن، بیان‌گر عملکرد مناسب مدل‌های مذکور در تخمین داده‌ها بوده است. در شکل‌های (۴) و (۵)، عملکرد توابع کاهش جذب آب در پیش‌بینی پارامتر $\alpha(\pi)$ به شیوه‌های مختلف نشان داده شد و نتایج آن مؤید مطالب مذکور بود.



شکل ۴- عملکرد توابع کاهش جذب آب در پیش‌بینی پارامتر $\alpha(\pi)$ ، با استفاده از ضرایب جداگانه در مراحل رشد


 شکل ۵- عملکرد توابع کاهش جذب آب در پیش‌بینی پارامتر $\alpha(\pi)$ ، با استفاده از ضرایب یکسان در کل دوره رشد

جدول ۸- مقدار پارامترهای آماری برای ارزیابی اعتبار توابع کاهش جذب آب

| ME | NRMSE (%) | RMSE | R ² | EF | CRM | شماره رابطه (مدل) | حالت ارزیابی تابع |
|-----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------------|-------------------|-------------------|
| -۰/۲۸ ^(۱) | ۲/۳ ^(۳) | ۰/۰۱۷ ^(۳) | ۰/۹۹۵ ^(۱) | ۰/۹۹۱ ^(۳) | -۰/۰۱۵۷ ^(۳) * | ۶ | |
| -۰/۱۱۵ ^(۴) | ۴/۹ ^(۳) | ۰/۰۳۶ ^(۳) | ۰/۹۷۲ ^(۲) | ۰/۹۶۴ ^(۳) | -۰/۰۱۸۲ ^(۳) | ۷ | با ضرایب جداگانه |
| -۰/۱۰۵ ^(۳) | ۶/۳ ^(۴) | ۰/۰۴۷ ^(۴) | ۰/۹۶۴ ^(۳) | ۰/۹۴ ^(۴) | -۰/۰۱۸۵ ^(۴) | ۸ | در مراحل رشد |
| -۰/۰۳۱ ^(۲) | ۲/۱ ^(۱) | ۰/۰۱۶ ^(۱) | ۰/۹۹۵ ^(۱) | ۰/۹۹۳ ^(۱) | -۰/۰۰۰۵ ^(۱) | ۹ | |
| -۰/۲۸۳ ^(۲) | ۱۳/۷ ^(۲) | ۰/۱۰۲ ^(۲) | ۰/۸۲ ^(۶) | ۰/۷۱۷ ^(۲) | -۰/۰۷۳۴ ^(۲) | ۶ | |
| -۰/۲۱۵ ^(۵) | ۱۱/۹ ^(۵) | ۰/۰۸۹ ^(۵) | ۰/۸۲۲ ^(۴) | ۰/۷۸۶ ^(۵) | -۰/۰۴۸۴ ^(۶) | ۷ | با ضرایب یکسان |
| -۰/۲۱۹ ^(۶) | ۱۲/۱ ^(۶) | ۰/۰۹۱ ^(۶) | ۰/۸۰۵ ^(۲) | ۰/۷۷۸ ^(۶) | -۰/۰۲۳۴ ^(۵) | ۸ | در کل دوره رشد |
| -۰/۳۵۶ ^(۸) | ۲۰/۶ ^(۸) | ۰/۱۵۴ ^(۸) | ۰/۸۲۱ ^(۵) | ۰/۳۶۲ ^(۸) | -۰/۱۴۷ ^(۸) | ۹ | |

*: اعداد داخل پرانتز نشان‌دهنده اولویت انتخاب مدل، بر اساس آماره‌های ارزیابی است.

در پژوهش‌های گذشته، تحقیق مشابهی درباره کاربرد جداگانه توابع کاهش جذب آب در مراحل مختلف رشد گیاه، گزارش نشد. اما در تحقیقی بر روی گیاه ذرت که به‌صورت گلدانی در گلخانه دانشگاه تهران کشت شد، اثر تنش شوری بر میزان جذب آب گیاه در دو فصل بهار و پاییز بررسی شد. تیمارهای شوری آب آبیاری شامل سطوح S_1 (۱/۷)، S_2 (۳/۳۶)، S_3 (۶/۳۳) و S_4 (۸/۳۵) دسی‌زیمنس بر متر بود. در فصل بهار، میزان جذب آب توسط گیاه در تیمارهای S_1 ، S_2 ، S_3 و S_4 به‌ترتیب برابر با ۴/۵، ۱۲/۸۴، ۲۹/۲۷ و ۴۲/۲۴ درصد و در فصل پاییز برابر با ۸/۰۸، ۲۳/۷۵، ۴۴/۷۷ و ۶۵/۱۷ درصد، نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت. نتایج حاصل نشان‌دهنده تفاوت جذب آب در

طول دوره رشد و حساسیت بیشتر ذرت به تنش شوری در مراحل میانی رشد بود. مقدار کاهش جذب آب ($\alpha(\pi)$) پیش‌بینی شده توسط دو تابع ون‌گنوختن - هافمن و ماس - هافمن نشان داد که در فصل پاییز، کارایی تخمین مدل خطی ماس - هافمن ($NRMSE=1/882\%$) بهتر از مدل نمایی ون‌گنوختن - هافمن ($NRMSE=3/464\%$) بوده است. در حالی که در فصل بهار مقادیر $NRMSE$ مربوط به جذب آب در هر دو مدل تفاوت چندانی نداشتند (بذرافشان و همکاران، ۱۳۹۸). از این رو نتایج پژوهش مذکور در خصوص انتخاب مدل بهینه، مشابه نتایج پژوهش حاضر بود. در پژوهش دیگر که به صورت گلخانه‌ای در منطقه کرمان انجام شد، توانمندی توابع کاهش جذب آب برای تخمین عملکرد ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴، در اثر اعمال تنش شوری در دوره رشد زایشی (مرحله میانی رشد) بررسی شد. سطوح شوری شامل تیمارهای ۱، ۲، ۴، ۶ و ۷ دسی‌زیمنس بر متر بود. نتایج نشان داد که برای تخمین متغیر اندام هوایی گیاه، مدل ون‌گنوختن - هافمن و برای تخمین عملکرد نهایی دانه ذرت، مدل ماس - هافمن دارای بیشترین دقت و بهترین تخمین بود (جلالی و اسدی کپورچال، ۱۳۹۹). در پژوهش اخیر نیز مدل خطی ماس - هافمن کارایی مناسب‌تری برای تخمین عملکرد نهایی دانه ذرت داشت که به نتایج پژوهش حاضر نزدیک بود. به‌طور کلی از پژوهش حاضر می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد توابع کاهش جذب آب با ضرایب یکسان در کل دوره رشد، حساسیت فیزیولوژیکی گیاه را در نظر نداشته و نمی‌توان از نتایج مدل‌سازی‌ها برای بازه‌های زمانی کوتاه در طول دوره رشد گیاه بهره‌برداری نمود. از این رو می‌توان با توسعه مدل‌های کاهش جذب آب در قالب کاربرد ضرایب مجزا در مراحل رشد گیاه، برآورد دقیق‌تری از میزان جذب آب و نیاز آبی واقعی گیاه در شرایط کاربرد تنش شوری به‌عمل آورد، که نتیجه آن افزایش بهره‌وری مصرف آب در بخش کشاورزی خواهد بود.

نتیجه‌گیری

به‌علت کاهش پتانسیل آب خاک در شرایط افزایش تنش شوری خاک، از میزان جذب آب توسط گیاه کاسته شد. با توجه به حساسیت متفاوت مراحل رشد گیاه به تنش شوری، شدت کاهش جذب آب در طول دوره رشد یکسان نبود. به‌طوری که به‌ازای افزایش هر یک دسی‌زیمنس بر متر شوری خاک در مراحل رشد P_1 تا P_4 ، به‌ترتیب مقدار $6/81$ ، $7/4$ ، $9/13$ و $4/25$ درصد از جذب آب توسط گیاه (نسبت به تیمار S_1) کاهش یافت. در نتیجه، مراحل رشد P_1 ، P_2 ، P_3 و P_4 به‌ترتیب بیش‌ترین تا کم‌ترین حساسیت را به تنش شوری نشان دادند. شروع زمان گل‌دهی، گرده‌افشانی، باروری و تولید میوه (بالال) در مرحله رشد P_3 ، از دلایل افزایش حساسیت گیاه به تنش شوری بود. از این رو بهره‌وری مصرف آب توسط گیاه در طول دوره رشد، متفاوت بوده و برای کاهش اتلاف آب مصرفی، باید حساسیت مرحله رشد گیاه نیز در نظر گرفته شود.

در این پژوهش، توابع کاهش جذب آب با دو شیوه ضرایب ثابت و جداگانه در مراحل رشد، واسنجی و ارزیابی شدند. در مرحله واسنجی، ضرایب یک تابع مشخص در هر یک از مراحل رشد و در کل دوره رشد، با یکدیگر تفاوت داشت. در برخی از مدل‌ها مانند ون‌گنوختن و ماس-هافمن، افزایش حساسیت مرحله رشد گیاه به تنش شوری (مراحل رشد P_2 و P_3) باعث افزایش مقدار ضرایب a ، P و b نسبت به سایر مراحل رشد شد. در نتیجه با انتخاب ضریب ثابت (در کل دوره رشد) برای یک مدل، دقت کافی برای تخمین مقدار جذب آب در مقیاس‌های زمانی کوتاه مدت وجود نخواهد داشت. در مرحله صحت‌سنجی توابع و با هدف انتخاب مدل بهینه، اولویت‌های برتر به شیوه کاربرد ضرایب جداگانه در مراحل رشد اختصاص داده شد. اما در بین مدل‌های مختلف، مدل‌های خطی ماس-هافمن، ون‌گنوختن، ون‌گنوختن - هافمن و دیرکسن-آگوستیجن به‌ترتیب به‌عنوان مدل بهینه انتخاب شدند. به‌طوری که میزان آماره‌های EF ، CRM ، R^2 ، $RMSE$ و ME نشان‌دهنده عملکرد مطلوب مدل‌های منتخب، در شبیه‌سازی مقدار کاهش جذب آب در شرایط تنش شوری بود. نتیجه کلی این که با استفاده از آثار پژوهش حاضر می‌توان مقدار کاهش جذب آب گیاه را دقیق‌تر از گذشته پیش‌بینی کرد و در راستای تأمین نیاز آبی واقعی گیاه و مدیریت بهینه مصرف آب، از آن بهره‌برداری نمود.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

منابع

بابازاده، حسین؛ علیزاده، حمزه‌علی؛ سرائی تبریزی، مهدی (۱۳۹۵). توسعه مدل مفهومی تعدیل شده پاسخ گیاهان به تنش توأمان خشکی و شوری (مطالعه موردی: ریحان). *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*. ۴۷(۲)، ۲۸۱-۲۹۲.

بذرافشان، ابوذر؛ شرفا، مهدی؛ محمدی، محمدحسین؛ ذوالفقاری، علی‌اصغر (۱۳۹۸). پاسخ ذرت به تنش شوری با استفاده از مدل‌های جذب آب در



- فصول مختلف. *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*. ۵۰(۹)، ۲۱۷۱-۲۱۸۲.
- جلالی، وحیدرضا؛ اسدی کپورچال، صفورا (۱۳۹۹). تأثیر تنش شوری بر عملکرد گیاه ذرت بر اساس توابع تولید کلان طی رشد زایشی. *مجله تحقیقات غلات*. ۱۱۰(۱)، ۴۵-۵۹.
- حسینی، یاسر؛ رضانی مقدم، جواد؛ نیک‌پور، محمدرضا؛ عبدلی، عطیه (۱۳۹۷). ارزیابی توابع جذب آب در شرایط تنش هم‌زمان خشکی و شوری در گیاه گوجه‌فرنگی مینیاتوری. *مجله پژوهش آب در کشاورزی*. ۳۲(۲)، ۲۴۸-۲۶۶.
- دهقانی سانج، حسین؛ کنعانی، الهه؛ اخوان، سمیرا (۱۳۹۶). ارزیابی تبخیر-تعرق ذرت و اجزای آن و ارتباط آن‌ها با شاخص سطح برگ در سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی. *مجله آب و خاک*. ۳۱(۶)، ۱۵۴۹-۱۵۶۰.
- سعیدی، رضا؛ ستوده‌نیا، عباس (۱۴۰۰). واکنش عملکرد به تبخیر-تعرق ذرت، تحت تأثیر تنش آبی در مراحل مختلف رشد (در دشت قزوین). *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*. ۵۲(۳)، ۶۱۱-۶۲۰.
- سعیدی، رضا (a) (۱۴۰۰). جداسازی تبخیر و تعرق در کشت ذرت و بررسی پاسخ آن‌ها به سطوح مختلف آبیاری. *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*. ۵۲(۵)، ۱۲۶۳-۱۲۷۳.
- سعیدی، رضا (b) (۱۴۰۰). اثر تنش خشکی و شوری در برآورد عملکرد ذرت علوفه‌ای از طریق تبخیر-تعرق دوره‌ای، با استفاده از مدل‌های مختلف. *مجله پژوهش آب در کشاورزی*. ۳۵(۲)، ۱۰۷-۱۲۲.
- سعیدی، رضا (a) (۱۴۰۱). ارزیابی مدل‌های رگرسیونی چند متغیره در تخمین اجزای تبخیر و تعرق ذرت علوفه‌ای، در شرایط تنش شوری. *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*. ۵۳(۱)، ۷۱-۸۴.
- سعیدی، رضا (b) (۱۴۰۱). تعیین ضریب تنش شوری در مراحل مختلف رشد ذرت علوفه‌ای. *مجله پژوهش آب در کشاورزی*. ۳۶(۱)، ۷۵-۹۲.
- شیرمحمدی، آرش؛ سلطانی محمدی، امیر؛ برومندنسب، سعید (۱۳۹۹). ارزیابی مدل‌های کاهش جذب آب ذرت دانه‌ای در شرایط اقلیمی اهواز. *نشریه آبیاری و زهکشی ایران*. ۳(۱۴)، ۹۳۰-۹۴۱.

REFERENCES

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrigation Drainage Paper No.56*. Pp. 1-326.
- Ayers, R. S., & Westcot, D. W. (1985). Water quality for agriculture. *FAO Irrigation and Drainage Paper No.29*. Pp. 32.
- Azizian, A., & Sepaskhah, A. R. (2014). Maize response to water, salinity and nitrogen levels: yield-water relation, water-use efficiency and water uptake reduction function. *Journal of plant production*. 8(2), 183-214.
- Azizian, A., Sepaskhah, A. R., & Zand-Parsa, Sh. (2015). Modification of a maize simulation model under different water, nitrogen and salinity levels. *International journal of plant production*. 9(4), 609-632.
- Babazadeh, H., Alizadeh, H., & Saraei-Tabrizi, M. (2016). Developing modified conceptual model for plants response to simultaneous salinity and water stress. *Iranian journal of soil and water research*. 47(2), 281-292. (In Persian)
- Bazrafshan, A., Shorafa, M., Mohammadi, M. H., & Zolfaghari, A. A. (2020). Maize response to salinity stress using water uptake models in different seasons. *Iranian journal of soil and water research*. 50(9), 2171-2182. (In Persian)
- Dehghanisanij, H., Kanani, E., & Akhavan, S. (2018). Evaluation of corn evapotranspiration and its components and relationship between leaf area index and components in surface and subsurface drip irrigation systems. *Journal of water and soil*. 31(6), 1549-1560. (In Persian)
- Dirksen, C., & Augustijn, D. C. (1988). Root water uptake function for nonuniform pressure and osmotic potentials. *Agriculture*. Pp. 188
- Feddes, R. A., Kowalik, P., & Zarandy, H. (1978). Simulation of field water use and crop yield. pudoc. Wageningen. The Netherlands saline water in supplemental irrigation of wheat and barley under rainfed agriculture. *Journal of agriculture water management*. 78, 122-127.
- Homae, M., & Feddes, R. A. (1999). Water uptake under non-uniform transient salinity and water stress. In: Modeling of transport processes in soil at various scales in time and space. Pp. 416-427.
- Homae, M., Feddes, R. A., & Dirksen, C. (2002 a). A macroscopic water extraction model for nonuniform transient salinity and water stress. *Journal of Soil Science*. 66, 1764-1772.
- Homae, M., Dirksen, C., & Feddes, R. A. (2002 b). Simulation of root water uptake. I. Non-uniform transient salinity using different macroscopic reduction functions. *Journal of agriculture water management*. 57, 89-109.

- Hoseini, Y., Ramezani-Moghaddam, J., Nikpour, M. R., & Abdoli, A. (2018). Evaluating water uptake functions under simultaneous salinity and water stress conditions in cherry tomato (*solanum lycopersicum*). *Journal of water research in agriculture*. 32(2), 248-266. (In Persian)
- Jalali, V. R., & Asadi Kapourchal, S. (2020). The effects of salinity stress on maize yield based on macroscopic production functions at reproductive growth stage. *Journal of cereal research*. 10(1), 45- 59. (In Persian)
- Maas, E. V., & Hoffman, G. J. (1977). Crop salt tolerance: Current assessment. *Journal of irrigation drainage*. ASCE. 103, 115- 134.
- Nielsen, R. L. (2002). Drought and heat stress effects on corn pollination. *Journal of agronomy (Purdue)*. 196, 19-25.
- Saeidi, R. (2021 a). Separation the evaporation and transpiration in maize cultivation and investigation of their response to different irrigation levels. *Iranian journal of soil and water research*. 52(5), 1263-1273. (In Persian)
- Saeidi, R. (2021 b). Effect of drought and salinity stress in estimation of forage maize yield through of periodic evapotranspiration, with using of different models. *Journal of water research in agriculture*. 35(2), 107-122. (In Persian)
- Saeidi, R., & Sotooodenia, A. (2021). Yield reaction to evapotranspiration of maize, under the effect of water stress at different growth stages (in Qazvin plain). *Iranian journal of soil and water research*. 52(3), 611-620. (In Persian)
- Saeidi, R., Ramezani-Etedali, H., Sotooodenia, A., Kaviani, A., & Nazari, B. (2021). Salinity and fertility stresses modifies K_s and readily available water coefficients in maize (Case study: Qazvin region). *Journal of irrigation science*. 39, 299- 313.
- Saeidi, R. (2022 a). Evaluation of multivariate regression models in estimation of evaporation and transpiration components of maize, under salinity stress conditions. *Iranian journal of soil and water research*. 53(1), 71-84. (In Persian)
- Saeidi, R. (2022 b). Determination of salinity stress coefficient in the different growth stages of forage maize. *Journal of water research in agriculture*. 36(1), 75-92. (In Persian)
- Saraei-Tabrizi, M., Homaei, M., Babazadeh, H., Kaveh, F., & Parsinejad, M. (2015). Modeling basil (*Ocimum basilicum* L.) response to simultaneous salinity and nitrogen deficit stresses. *Journal of water and soil sciences (sciences and techniques of the agricultural and natural resources)*. 19(73), 45-57. (In Persian)
- Shirmohammadi, A., Soltani Mohammadi, A., & Broumand Nasab, S. (2020). Evaluation of reduced grain water absorption models in Ahwaz climatic conditions. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*. 3(14), 930-941. (In Persian)
- Van Genuchten, M. Th., & Hoffman, G. J. (1984). Analysis of crop production. In: I. Shainberg and J. Shalhevet (eds), *Soil salinity under irrigation*. Pp. 258-271.
- Van Genuchten, M. Th. (1987). A numerical model for water and solute movement in and below the root zone. Research Report. US Salinity Laboratory, Riverside, CA.
- Zhou, S., Liu, W., & Lin, W. (2017). The ratio of transpiration to evapotranspiration in a rain fed maize field on the Loess Plateau of China. *Journal of water science and technology*. 17(1), 221-228.



The Sensitivity Effect of Maize Growth Stages on Application of Water Uptake Reduction Functions, under Salinity Stress Conditions

EXTENDED ABSTRACT

Introduction:

Due to the reduction of soil water potential in salinity stress conditions, the amount of water uptake and transpiration of crop decreases. By using the water uptake reduction functions (Such as models of Mass and Hoffman (1977), Van Genuchten and Hoffman (1984), Dirksen and Augustijn (1988) and Homaei et al (2002b)), the amount of crop water uptake is simulated under salinity stress conditions. In past researches, the water uptake reduction functions were evaluated by the constant coefficients in the crop growth period. But the aim of this research is to investigate the effect of maize growth stages sensitivity on the application of water uptake reduction functions.

Materials and Methods:

This research was conducted on maize S.C 704, in Qazvin region in 2021. The experiment was performed as factorial and in a completely randomized design. The effect of soil salinity and crop growth stage sensitivity were investigated on the amount of crop water uptake. The soil salinity treatments (main factor) were defined at levels of 0.5 (S_1), 1.7 (S_2), 2.5 (S_3), 3.5 (S_4), 4.5 (S_5), 5.5 (S_6), 6.5 (S_7) and 7.5 (S_8) $dS.m^{-1}$ and the growth stages (sub-factor) were consisted of initial (P_1), development (P_2), mid (P_3) and late (P_4) steps. For simulating the amount of water uptake reduction in salinity stress conditions, the functions of Van Genuchten, Van Genuchten-Hoffman, Dirksen-Augustijn and Mass-Hoffman were used. The calibration of models (functions) was done by real data in treatments of S_1 , S_3 , S_5 and S_7 and the evaluation of models was done in treatments of S_2 , S_4 , S_6 and S_8 . The calibration of models was done once for the whole growth period (by constant coefficients) and again by considering the crop growth stages sensitivity (by variable coefficients).

Results and Discussion:

Due to the salinity stress, the soil water potential, water uptake and transpiration of crop was decreased. At different soil salinity levels (from S_1 to S_8 treatment), the slope of water uptake reduction at P_1 to P_4 growth stages and whole growth period, was estimated to be 6.81%, 7.4%, 9.13%, 4.25% and 7.9%, respectively. Therefore, the highest to lowest crop sensitivity to salinity stress was observed in P_3 , P_2 , P_1 and P_4 growth stages, respectively. The crop water uptake efficiency was decreased by salinity stress, and its effect was different in crop growth stages. By knowing the crop sensitivity in growth stages, the amount of water use is determined according to the actual water requirement of crop. The results showed that in a specific model, the function coefficients were different in the growth stages. Therefore, the functions calibration for whole growth period (with a constant coefficient) was less accurate for determining the water uptake during the growth period. Among the different models (with variable coefficients), the priority of choosing the optimal model was given to models of Mass-Hoffman, Van Genuchten, Van Genuchten-Hoffman and Dirksen-Augustijn, respectively.

Conclusions:

By using the separate coefficients for each growth stage, a more accurate prediction of water uptake reduction under salinity stress is performed. Evaluation statistics of CRM, EF, R^2 , RMSE and ME with the values of -0.0005, 0.993, 0.995, 0.016 and 0.031 showed that the Mass-Hoffman function (with variable coefficients) was the optimal model for simulation the water uptake reduction. As a result, by calibration of functions in the crop growth stages, the actual amount of water uptake is simulated.

Keywords: Growth Period, Modeling, Stress Coefficient.