

## Maize Response to Salinity Stress Using Water Uptake Models in Different Seasons

ABOUZAR BAZRAFESHAN<sup>1</sup>, MEHDI SHORAF<sup>1\*</sup>, MOHAMMAD HOSSEIN MOHAMMADI<sup>1</sup>, ALI ASGHAR ZOLFAGHARI<sup>2</sup>

1. Department of Soil Science, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, College of Agricultural and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

2. Department of Desertification, Faculty of Desert Science, University of Semnan, Semnan, Iran

(Received: May. 20, 2019- Revised: June. 15, 2019- Accepted: June. 23, 2019)

### ABSTRACT

This study was performed to investigate the effect of salinity stress and evaporative demand on water uptake by maize (*Zea Mays L.*). For two seasons, greenhouse experiments were conducted in pots in a completely randomized design with 4 replicates in 2017. Water uptake by maize was measured daily under constant matric suction of 100 cm at different salinity levels (0, 1.7, 3.36, 6.33 and 8.35 dS/m). The electrical conductivity in pots was kept constant after the treatment initiations. The salinity threshold level was determined to be 0.52 for spring season and 1.48 dS/m for autumn season based on salinity of irrigation water which implies more sensitivity of maize to salinity stress under high evaporative demand as compared to low evaporative demand conditions. The imposed salinity stress significantly affected water uptake and yield in both spring and autumn seasons. The estimated yield and water uptake values using reduction functions indicated that the exponential model of van Genuchten-Hoffman had more accuracy than the linear model of Maas-Hoffman for yield, while the accuracy of linear model was more than the exponential model for water uptake, especially in autumn season. It is concluded that the plant response to salinity stress is not the same under different evaporative demand conditions.

**Keywords:** water use, yield, reduction functions, vapor-pressure deficit

## پاسخ ذرت به تنش شوری با استفاده از مدل‌های جذب آب در فصول مختلف

ابوذر بذرافشان<sup>۱</sup>، مهدی شرفا<sup>۱\*</sup>، محمدحسین محمدی<sup>۱</sup>، علی اصغر ذوالفقاری<sup>۲</sup>

۱. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران،

کرج، ایران

۲. استادیار، گروه بیابان‌زدایی، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۲/۳۰ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۳/۲۵ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۴/۲)

### چکیده

این تحقیق به منظور بررسی برهمکنش تنش شوری و تقاضای تبخیر بر جذب آب توسط گیاه ذرت انجام شد. آزمایش‌ها در دو فصل بهار و پاییز در گلخانه به صورت طرح کاملاً تصادفی با ۴ تکرار در سال ۱۳۹۶ انجام شدند. جذب آب ذرت به صورت روزانه تحت مکش ۱۰۰ سانتی‌متر در سطوح شوری ۰، ۱/۷، ۳/۳۶، ۶/۳۳ و ۸/۳۵ دسی‌زیمنس بر متر اندازه‌گیری شد. قابلیت هدایت الکتریکی در گلدان‌ها بعد از شروع اعمال تیمار ثابت نگه داشته شد. حد آستانه شوری بر اساس شوری آب آبیاری برای فصل بهار ۰/۵۲ و برای فصل پاییز ۱/۴۸ دسی‌زیمنس بدست آمد که نشان‌دهنده حساسیت بیشتر ذرت به تنش شوری تحت شرایط تقاضای تبخیر بالا نسبت به تقاضای تبخیر پایین می‌باشد. تنش شوری اعمال شده به طور معنی‌دار جذب آب و عملکرد گیاه را در هر دو فصل بهار و پاییز تحت تأثیر قرار داد. مقادیر عملکرد و جذب آب برآورد شده با استفاده از توابع کاهش نشان داد که مدل نمایی و گنگوختن-هافمن دقت بالاتری از مدل خطی ماس-هافمن برای عملکرد داشت در حالی که صحت مدل خطی بیش‌تر از مدل نمایی برای جذب آب به‌ویژه در فصل پاییز بود. به‌طور کلی نتیجه گرفته شد، پاسخ گیاه به تنش شوری در شرایط تقاضای تبخیر متفاوت یکسان نیست.

واژه‌های کلیدی: مصرف آب، عملکرد، توابع کاهش، کمبود فشار بخار

### مقدمه

آبیاری، به‌عنوان راهکاری برای تأمین آب موردنیاز گیاه، از مهم‌ترین چالش‌های کشاورزی دنیا می‌باشد که در سالیان اخیر به دلیل افزایش شوری آب آبیاری و کمبود آب مناسب بسیار مورد توجه قرار گرفته است (Brown *et al.*, 2006). در دنیا مناطق شور به دلایل مختلف شامل بارندگی کم، تبخیر سطحی بالا، هوازدگی سنگ‌های طبیعی، آبیاری با آب شور و عملیات کشاورزی ضعیف با نرخ سالیانه ۱۰ درصد در حال افزایش می‌باشند (Jamil *et al.*, 2011). شوری به‌عنوان یک تنش غیرزیستی سبب اختلال در جوانه‌زنی بذر و تولید پایدار محصول می‌شود (Kubala *et al.*, 2015). اثر زیان‌بار شوری بر رشد گیاه به پتانسیل اسمزی پایین در خاک، تغذیه غیرمتعادل، اثرهای یونی خاص و یا ترکیبی از این عوامل بستگی دارد (Munns and Gilliham, 2015). معمولاً، تنش ناشی از آبیاری با آب شور جذب آب گیاه را کاهش می‌دهد و در نهایت سبب کاهش عملکرد می‌شود (Skaggs *et al.*, 2006). مطالعات زیادی بر روی جذب آب ریشه شامل آزمایش‌های مزرعه‌ای و توسعه مدل در شرایط شور انجام شده است (Homaei and Schmidhalter, 2008). در حال

حاضر، دو روش عمده جهت پیش‌بینی جذب آب به‌وسیله ریشه گیاه تحت شرایط تنش به‌کار برده می‌شود. روش اول، رویکرد خرد (میکروسکوپی) می‌باشد که جریان شعاعی درون ریشه‌های منفرد را شبیه‌سازی می‌کند و برای درک فرآیند جذب آب توسعه یافته‌اند و در عمل کاربرد کم‌تری دارند (Homaei *et al.*, 2002). در مقابل مدل‌های کلان (ماکروسکوپی) به اطلاعات کم‌تری از هندسه ریشه، ویژگی‌های خاک و شرایط آب و هوا نیاز دارند و به همین دلیل در مسائل مدیریتی و هیدرولوژیکی به سادگی استفاده می‌شوند (Braud *et al.*, 2005). مدل‌های کلان بر اساس حل عددی معادله ریچاردز با در نظر گرفتن عامل جذب آب شرح داده می‌شوند (Navabian *et al.*, 2014). در مدل‌های کلان، مقدار آب جذب شده توسط گیاه برابر با میزان تعرق واقعی و در شرایط بدون محدودیت آبی در خاک برابر با تعرق بالقوه در نظر گرفته شده و به‌صورت کلی زیر بیان می‌شوند (Skaggs *et al.*, 2006).

$$S = \frac{T_p}{Z_r} \quad (\text{رابطه ۱})$$

در این رابطه،  $Z_r$  عمق توسعه ریشه (L)،  $T_p$  تعرق بالقوه

( $LT^{-1}$ ) و  $S$  تعرق واقعی ( $LT^{-1}$ ) می‌باشد.

به‌طور واقعی در معرض قابلیت هدایت الکتریکی محلول خاک هستند و به قابلیت هدایت الکتریکی محلول خاک پاسخ می‌دهند. در رابطه با تقاضای تبخیر اتمسفر بر پاسخ به شوری گیاهان، محققان زیادی نشان داده‌اند که تحمل به شوری گیاه با افزایش دمای هوا و افزایش تقاضای تبخیر اتمسفر کاهش می‌یابد (Meiri et al., 1982, Li et al., 2001, Schiattone et al., 2017). تقاضای تبخیر اتمسفر نیروی محرکه تعرق گیاه می‌باشد، هر مقدار تقاضای تبخیر بالاتر باشد، تعرق بالقوه نیز بالاتر خواهد بود و کاهش جذب آب و عملکرد گیاه تحت تنش شوری بستگی به این عامل دارد (Jones, 1992; Ityel et al., 2012). Katerji et al. (2004) در آزمایش کشت با استفاده از لایسیمتر نشان دادند که حساسیت ذرت به تنش شوری با افزایش تقاضای تبخیر اتمسفر افزایش می‌یابد. Shibuya et al. (2018)، با استفاده از آزمایش کشت درون محفظه رشد نشان دادند که برهمکنش تقاضای تبخیر و شوری ویژگی‌های رشد و فتوسنتز نهال خیار را تحت تأثیر قرار داد. افزایش تقاضای تبخیر رشد نهال را عمدتاً با کاهش سطح برگ در شوری پایین و با کاهش فتوسنتز در شوری بالا کاهش داد. Chen et al. (2015) با استفاده از آزمایش گلخانه‌ای نشان دادند که اثرات بلندمدت دمای بالا بر عملکرد نسبی گوجه فرنگی تحت تنش شوری در کل دوره رشد گیاه منفی بود. همچنین، Tack et al. (2015) با استفاده از آزمایش مزرعه‌ای بر روی برنج و Choudhary et al. (2019) با استفاده از آزمایش گلدانی در فضای آزاد بر روی ارزن نشان دادند که میزان تقاضای تبخیر اتمسفر بر پاسخ به تنش شوری گیاه تأثیرگذار است. Abdel-Mawgoud et al. (2004) با استفاده از کشت گلخانه‌ای فلفل در یک سطح شوری ثابت، عملکرد نسبی بالاتر برای شرایط تقاضای تبخیر پایین‌تر و عملکرد نسبی پایین‌تر برای شرایط تقاضای تبخیر بالاتر به دست آوردند. Shannon et al. (1994) نشان دادند که به‌طور کلی واکنش گیاه به تنش شوری به غلظت نمک در بافت گیاه، ترکیب نمک‌ها، زمان در معرض قرارگیری و همچنین شرایط اقلیمی بستگی دارد. بر اساس مطالعات انجام شده در دنیا، عملکرد نسبی و پارامترهای رشد گیاه در شرایط شور بسته به میزان تقاضای تبخیر اتمسفر تغییر می‌کند. با توجه به اینکه مطالعات روی الگوی تغییرات جذب آب و عملکرد ذرت در شرایط شور و تقاضای تبخیر متفاوت بسیار کم انجام شده است، این تحقیق با هدف بررسی پاسخ گیاه به تنش شوری در شرایط تقاضای تبخیر متفاوت در دو فصل بهار (تقاضای تبخیر بالا) و پاییز (تقاضای تبخیر پایین) از یک سو و ارزیابی توابع کاهش جذب آب تحت تنش شوری در شرایط گلخانه از سوی

در شرایط تنش شوری نیاز آبی گیاه برای حداکثر تعرق (T<sub>p</sub>) فراهم نمی‌شود و به اندازه  $\alpha(h_0)$  که به آن تابع کاهش گویند از تعرق بالقوه کاسته می‌شود (Skaggs et al., 2006).

$$S = \alpha(h_0) \frac{T_p}{Z_r} \quad (\text{رابطه ۲})$$

که  $h_0$  پتانسیل اسمزی خاک می‌باشد.

همچنین، معادله یک بعدی ریچاردز به‌صورت زیر می‌باشد.

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[ K(h) \frac{\partial h}{\partial z} + K(h) \right] - S \quad (\text{رابطه ۳})$$

در این رابطه،  $\theta$  رطوبت حجمی خاک ( $L^3L^{-3}$ )،  $t$  زمان (T)،

$z$  عمق (L)،  $K(h)$  ضریب آب‌گذری غیراشباع خاک ( $LT^{-1}$ )،  $h$  پتانسیل ماتریک (L) و  $S$  مقدار آب جذب شده به‌وسیله ریشه گیاه در واحد حجم خاک در واحد زمان ( $L^3L^{-3}T^{-1}$ ) است. محققان شوری مشاهده کرده‌اند که در شرایط شور، کاهش کمی از رشد تا حد آستانه شوری اتفاق می‌افتد و بالاتر از شوری آستانه کاهش رشد به‌صورت خطی اتفاق می‌افتد (Maas and Hoffman, 1977). Katerji et al. (1994) با مطالعه تأثیر شوری بر عملکرد ذرت در شرایط گلخانه و Chamekh et al. (2015) بر عملکرد گندم در شرایط مزرعه نشان دادند که کاهش رشد با افزایش شوری به‌صورت خطی می‌باشد. همچنین، Sarai Tabrizi et al. (2016) با مطالعه تأثیر تنش شوری بر عملکرد ریحان در شرایط گلخانه و Jalali et al. (2017) بر عملکرد گندم دوروم در مرحله رشد رویشی با استفاده از لایسیمتر نشان دادند که مدل نمایی و گنگوختن-هافمن بهتر از مدل خطی ماس-هافمن کاهش عملکرد را برآورد می‌نماید. در رابطه با تغییر پارامترهای پاسخ گیاهان به تنش شوری، Maas and Hoffman (1977) مشاهده کردند که داده‌های آن‌ها فقط به‌عنوان خط راهنما استفاده می‌شوند و تحمل واقعی گیاهان به شوری ممکن است با اقلیم، عملیات کشاورزی و شرایط خاک تغییر کند. همچنین جداول زیادی که رابطه بین عملکرد نسبی و قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع متوسط منطقه ریشه گیاه و همچنین برای کل فصل رشد را نشان می‌دهند، کاملاً تقریبی هستند و عدم قطعیت معنی‌داری دارند (Maas, 1990) و معمولاً حساسیت گیاهان به شوری در طول فصل رشد متغیر است (Saadat and Homaei, 2015). به‌عنوان مثال، Maas and Grattan (1999) با بررسی اثر شوری عصاره اشباع خاک بر گیاه ذرت نشان دادند که مقدار حد آستانه ۱/۷ دسی‌زیمنس بر متر و شیب خط کاهش عملکرد ۱۲ درصد بر دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد. این نتایج در همه شرایط صادق نیست زیرا شامل اطلاعات در مورد خاک و دیگر فاکتورهای زیست‌محیطی و تغییر غلظت املاح نمی‌باشند (Chaali et al., 2013). De Jong van Lier et al. (2009) نشان دادند که گیاهان

دیگر انجام شد.

کشاورزی واقع در شهرستان آبیگ استان قزوین از عمق (۰-۳۰) سانتی‌متر برداشت شد. به‌منظور تسهیل عمل آبخوبی خاک مذکور با بافت سبک انتخاب شد (Minasny and McBratney, 2002). سپس خاک‌ها جهت کاشت از الک ۴ میلی‌متری عبور داده شدند و به‌منظور آنالیزهای فیزیکی و شیمیایی بخشی از خاک‌ها از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند. توزیع اندازه ذرات خاک‌ها به روش هیدرومتری و الک (Gee and Or, 2002)، قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک به‌وسیله دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی (Rhoades, 1996) و جرم مخصوص ظاهری با روش استوانه (Soil Survey Staff, 2014) اندازه‌گیری شد. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه در جدول (۱) نشان داده شده است.

## مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت کشت گلدانی در گلخانه تحقیقاتی گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه تهران با طول جغرافیایی ۶۰ درجه، عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۸ دقیقه در دو فصل بهار و پاییز سال ۱۳۹۶ انجام شد. دمای گلخانه در بهار و پاییز به‌ترتیب بین (۱۰±۲۰) و (۱۰±۳۰) درجه سانتی‌گراد متغیر بود. همچنین درصد رطوبت نسبی در بهار و پاییز به‌ترتیب بین (۲۰±۲۰)٪ و (۲۰±۴۰)٪ متغیر بود. در هر دو فصل، گیاه ذرت (*Zea mays*, L., var. SC704) در گلدان‌هایی با ارتفاع و قطر به ترتیب ۳۶ و ۲۵ سانتی‌متر کشت شدند. خاک مورد آزمایش از مزرعه

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

رس	سیلت	شن	بافت خاک	pH	OC	EC <sub>e</sub>	θ <sub>10kPa</sub>	θ <sub>s</sub>
(٪)	(٪)	(٪)			(٪)	(dS m <sup>-1</sup> )	(m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	(m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )
۹	۱۹/۳	۷۱/۷	Sandy loam	۷/۸	۰/۴	۰/۴	۰/۲۷	۰/۳۹

OC: کربن آلی خاک، θ<sub>10kPa</sub>: مقدار رطوبت حجمی خاک در مکش ماتریک ۱۰ کیلوپاسکال

گیاه در دو مرحله قبل از کاشت گیاه و قبل از اعمال تیمارهای شوری اضافه شدند.

## اعمال تیمارها

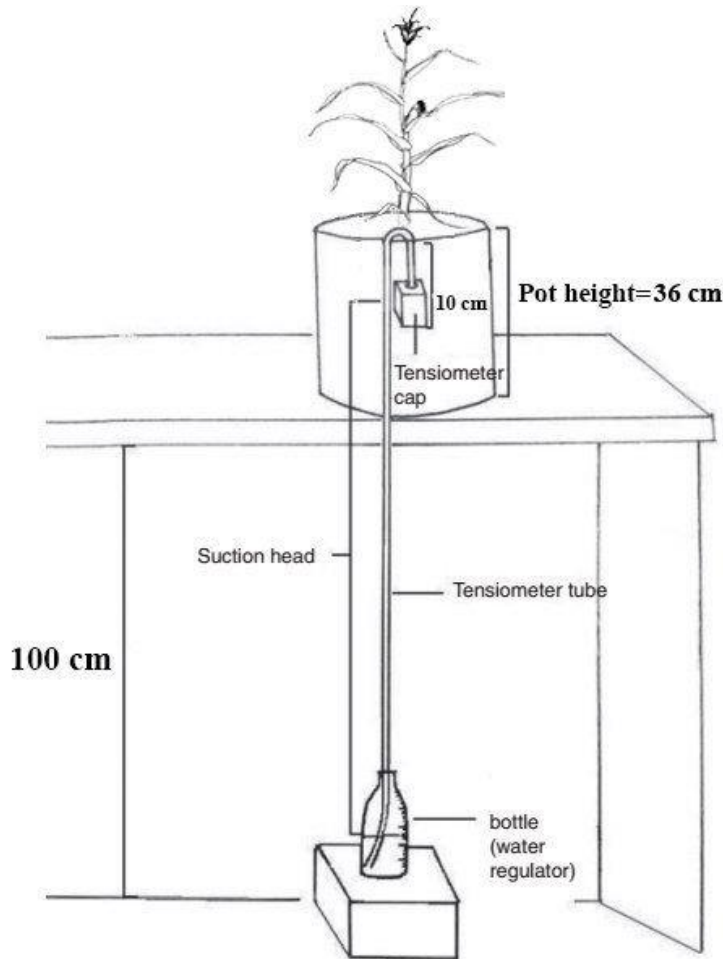
به‌منظور اعمال تیمارها، سطوح شوری با نسبت مولی (۱:۱) کلرور سدیم و کلرور کلسیم تهیه شدند و سپس فشار اسمزی سطوح مختلف غلظت نمک با استفاده از معادله وانت هوف محاسبه گردید و نهایتاً EC سطوح مختلف شوری به‌وسیله دستگاه هدایت سنج الکتریکی (JENWAY- 4320) اندازه‌گیری شد. تیمارهای اعمال شده شامل پنج سطح شوری (۰، ۱/۷، ۳/۳۶، ۶/۳۳ و ۸/۳۵) دسی‌زیمنس بر متر بودند. جزئیات سطوح شوری و غلظت نمک-های استفاده شده در جدول (۲) نشان داده شده است. پس از استقرار بوته‌ها، تیمارهای شوری به‌صورت روزانه به تمام گلدان‌ها اعمال شدند و مقدار جذب آب روزانه گیاه با استفاده از اختلاف مقدار آب آبیاری و آب زهکشی شده توسط تانسیمومترها اندازه‌گیری شد.

## کاشت گیاه

جهت کاشت گیاه ذرت مقدار ۱۸ کیلوگرم خاک درون گلدان‌های پلاستیکی ریخته شد. در هر گلدان یک عدد تانسیمومتر جهت انجام عمل آبخوبی، اعمال مکش ماتریک ۱۰۰ سانتی‌متر و اندازه‌گیری جذب آب گیاه قرار داده شد (شکل ۱). با استفاده از تانسیمومترها، سطوح شوری مختلف به‌وسیله حجم زهکشی بالای آب آبیاری جهت جلوگیری از تجمع نمک در خاک، تنظیم شدند (Meskini et al., 2018). سپس خاک تمام گلدان‌ها به جرم مخصوص ظاهری حاکم بر مزرعه (۱/۵۵ گرم بر سانتی‌مترمکعب) رسانده شدند. قبل از کاشت، بذرها ذرت ضدعفونی گردیدند و سه عدد بذر ذرت برای تمام گلدان‌ها در یک راستا و به فاصله مساوی کاشت شدند. سپس در مرحله پنج برگی گیاه در هر گلدان یک بوته انتخاب و دو بوته دیگر حذف شدند. به‌منظور کاهش تبخیر از سطح خاک گلدان، لایه‌ای از ذرات شن سفید با قطر ۲-۴ میلی‌متر به ضخامت دو سانتی‌متر بر سطح خاک قرار داده شد. بر اساس نتایج آزمون خاک، عناصر غذایی مورد نیاز

جدول ۲- ویژگی‌های آب آبیاری استفاده شده در آزمایش

سطوح شوری	کلورسدیم	کلرورکلسیم	پتانسیل اسمزی	قابلیت هدایت الکتریکی
(mmol lit <sup>-1</sup> )	(mmol lit <sup>-1</sup> )	(mmol lit <sup>-1</sup> )	(kPa)	(dS m <sup>-1</sup> )
S <sub>0</sub>	۰	۰	۰	۰
S <sub>1</sub>	۵/۱	۵/۱	-۶۱	۱/۷
S <sub>2</sub>	۱۰/۵	۱۰/۵	-۱۲۶	۳/۳۶
S <sub>3</sub>	۲۱	۲۱	-۲۵۲	۶/۳۳
S <sub>4</sub>	۲۸	۲۸	-۳۳۶	۸/۳۵



شکل ۱- شماتیک تانسومتر استفاده شده جهت تنظیم سطح شوری داخل گلدان

#### توابع کاهش جذب آب در شرایط شور

مدل‌های مختلفی به منظور بررسی کاهش جذب آب و عملکرد گیاه در شرایط تنش شوری مورد استفاده قرار گرفته است. در این تحقیق برازش مدل خطی ماس - هافمن و مدل نمایی ونگنوختن-هافمن بر داده‌های جذب آب و عملکرد نسبی گیاه انجام شد.

الف) مدل خطی ماس-هافمن

$$\alpha(h_o) = 1 - \frac{b}{360} (h_o^* - h_o) \quad (\text{رابطه ۴})$$

ب) مدل نمایی

ونگنوختن-هافمن

$$\alpha(h_o) = \frac{1}{1 + \left(\frac{h_o}{h_{0.50}}\right)^p} \quad (\text{رابطه ۵})$$

در روابط بالا،  $b$  شیب خط و  $360$  ضریبی است که شوری خاک ( $ds/m$ ) را به فشار اسمزی متناظر خود برحسب سانتی‌متر آب تبدیل می‌نماید.  $h_{0.50}$  مقدار شوری است که در آن جذب آب ۵۰٪ کاهش می‌یابد،  $P$  نیز ضریب تجربی است که وابسته به خاک، گیاه و اقلیم می‌باشد (Homae et al., 2002).  $h_o^*$  مقدار حد آستانه شوری و  $h_o$  مقدار شوری خاک می‌باشد.

#### شاخص‌های ارزیابی مدل‌ها

در این مطالعه توابع کاهش در شرایط شور بر داده‌های جذب آب و عملکرد گیاه در سطوح شوری مختلف برازش داده شد. به منظور ارزیابی کارایی مدل‌ها از شاخص‌های آماری شامل ریشه میانگین مربعات خطا نرمال ( $nRMSE$ ) و ضریب تبیین ( $R^2$ ) استفاده شد.

$$nRMSE = \left( \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{n} \right)^{1/2} \frac{100}{\bar{o}} \quad (\text{رابطه ۶})$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2} \quad (\text{رابطه ۷})$$

در معادلات مربوطه  $nRMSE$ ، ریشه میانگین مربعات خطا نرمال،  $R^2$ ، ضریب تبیین،  $O_i$ ، مقدار واقعی داده،  $P_i$ ، مقدار برآورد شده توسط مدل و  $n$ ، تعداد جفت داده اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده می‌باشد.

#### تجزیه‌های آماری

این پژوهش به صورت طرح کاملاً تصادفی با ۴ تکرار انجام شد. تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.4 صورت گرفت. به منظور برازش مدل‌ها و تعیین پارامترهای بهینه مدل-

های کاهش جذب آب در مدل خطی، از جعبه ابزار Solver نرم-افزار Excel 2013 و در مدل غیرخطی از جعبه ابزار برازش مدل نرم‌افزار Matlab 2018 استفاده شد. همچنین نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel 2013 رسم گردیدند.

### نتایج و بحث

جدول (۳) مقادیر جذب آب کل و عملکرد گیاه و معنی‌داری بین سطوح مختلف شوری در هر دو فصل بهار (تقاضای تبخیر بالا) و پاییز (تقاضای تبخیر پایین) را نشان می‌دهد. تغییرات معنی‌دار جذب آب و عملکرد گیاه با افزایش سطح شوری در شرایط تقاضای تبخیر بالا و پایین متفاوت بود که تأثیر تقاضای تبخیر را در تنش شوری ثابت نشان می‌دهد. در هر دو فصل بین سطح شوری  $S_0$  و  $S_1$  اختلاف معنی‌دار در جذب آب و عملکرد گیاه به دلیل سطح شوری پایین  $S_1$  وجود نداشت در صورتی که سطوح بالاتر تنش شوری برای مقادیر جذب آب و عملکرد گیاه به جز مقدار عملکرد فصل پاییز در سطح  $S_2$  با تیمار شاهد اختلاف

معنی‌دار نشان دادند. همچنین، تغییرات جذب آب توسط گیاه در سطوح مختلف شوری در دو فصل بهار و پاییز در شکل (۲) نشان داده شده است. با افزایش پتانسیل اسمزی محلول خاک، الگوی کاهش جذب آب توسط گیاه در شرایط تقاضای تبخیر بالا و تقاضای تبخیر پایین متفاوت بود. در فصل بهار، جذب آب گیاه در تیمارهای  $S_1$ ،  $S_2$ ،  $S_3$  و  $S_4$  به ترتیب ۴/۵، ۱۲/۸۴، ۲۹/۲۷، ۴۲/۲۴ درصد و در فصل پاییز، ۸/۰۸، ۲۳/۷۵، ۴۴/۷۷ و ۶۵/۱۷ درصد نسبت به تیمار شاهد ( $S_0$ ) کاهش یافت. نتایج نشان داد که برهمکنش تقاضای تبخیر بالا و تنش شوری سبب جذب آب بیشتر و کاهش کمتر نرخ جذب آب در سطوح شوری مختلف نسبت به برهمکنش تنش شوری و تقاضای تبخیر پایین شد. بر طبق مطالعه Shannon *et al.*, (1994)، نرخ کاهش جذب آب علاوه بر تنش شوری تحت تأثیر تقاضای تبخیر اتمسفر نیز می‌باشد و افزایش جذب آب نسبی در فصل بهار نسبت به فصل پاییز به دلیل تقاضای تبخیر بالا و در نتیجه تعرق پتانسیل بالاتر می‌باشد (Jones, 1992).

جدول ۳- مقادیر جذب آب کل و عملکرد گیاه در سطوح شوری مختلف در فصل بهار و پاییز

سطح شوری					
$S_4$	$S_3$	$S_2$	$S_1$	$S_0$	ویژگی‌ها
					فصل بهار
۲۱۴۱۶ <sup>d</sup>	۲۶۲۲۳ <sup>c</sup>	۳۲۳۰۷ <sup>b</sup>	۳۵۴۰۶ <sup>a</sup>	۳۷۰۷۶ <sup>a</sup>	جذب آب (cm <sup>3</sup> )
۷۱/۳۵ <sup>c</sup>	۸۰/۳ <sup>c</sup>	۱۱۲/۹۲ <sup>b</sup>	۱۴۸/۹ <sup>a</sup>	۱۵۳/۸۷ <sup>a</sup>	عملکرد (g)
					فصل پاییز
۸۸۳۳ <sup>d</sup>	۱۴۰۰۱ <sup>cd</sup>	۱۹۳۲۷ <sup>bc</sup>	۲۳۳۰۱ <sup>ab</sup>	۲۵۳۵۰ <sup>a</sup>	جذب آب (cm <sup>3</sup> )
۵۵/۳۱ <sup>c</sup>	۷۴/۶۵ <sup>bc</sup>	۹۳/۰۹ <sup>ab</sup>	۱۰۱/۱۱ <sup>a</sup>	۱۰۴/۵۵ <sup>a</sup>	عملکرد (g)

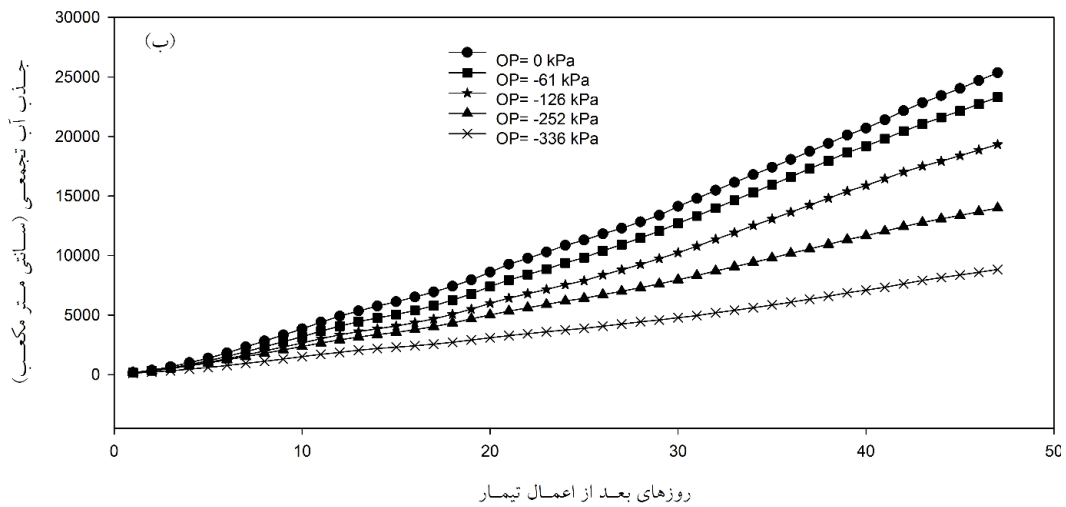
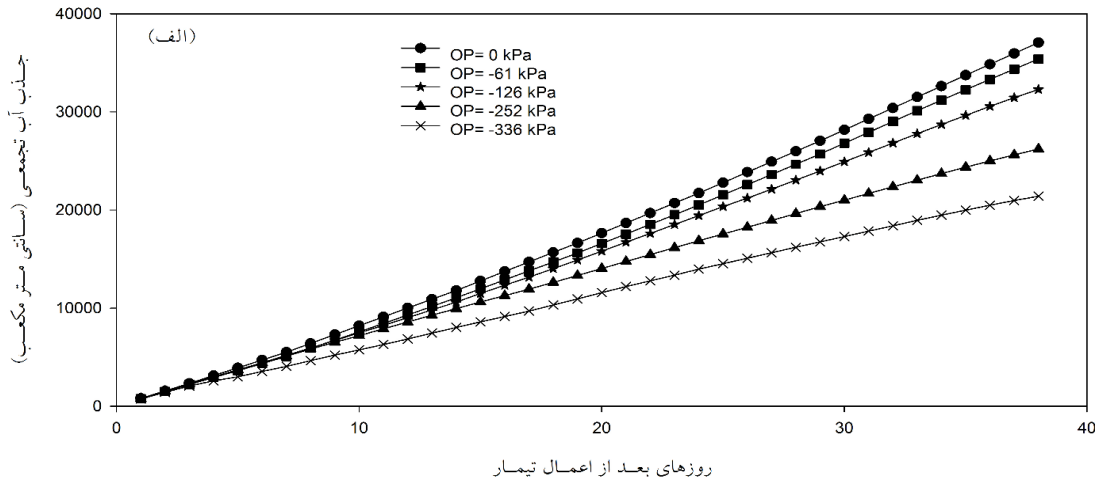
در هر ردیف میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک، فاقد اختلاف معنی‌دار به روش آزمون دانکن در سطح ۵ درصد می‌باشند.

نشان داد که در شرایط تقاضای تبخیر بالا، جذب آب در تیمارهای شاهد ( $S_0$ ) و سطوح شوری  $S_1$  و  $S_2$  بین هر سه مرحله به دلیل رشد گیاه و سطح شوری پایین معنی‌دار شد. در سطح شوری  $S_3$ ، به علت کاهش جذب آب در مرحله رشد زایشی نسبت به مرحله ابتدایی رشد رویشی تفاوت جذب آب گیاه معنی‌دار شد اما در بالاترین سطح شوری ( $S_4$ )، به دلیل حساسیت زیاد هر سه مرحله ابتدایی رویشی، انتهای رویشی و زایشی به سطح تنش شوری بالا، بین مراحل مختلف رشد تفاوت معنی‌دار دیده نشد. این نتایج با مطالعه Katerji *et al.*, (2004) مطابقت دارد که تنش شوری بالا سبب افزایش حساسیت گیاه به کاهش جذب آب و عملکرد می‌گردد. در شرایط تقاضای تبخیر پایین، در تمام سطوح شوری بین مرحله ابتدایی رشد رویشی و رشد زایشی با افزایش جذب آب به دلیل افزایش رشد گیاه و حساسیت پایین به تنش شوری،

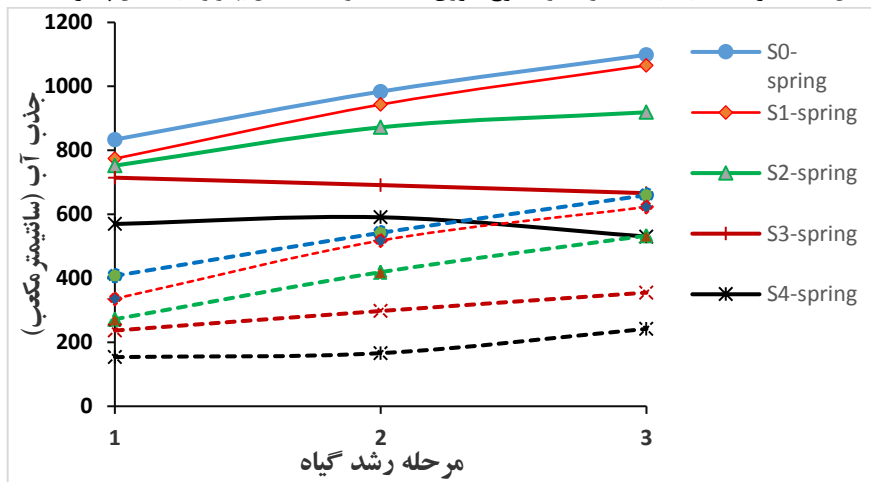
شکل (۳) مقادیر میانگین جذب آب در مراحل (۱) ابتدایی (رشد رویشی، ۲) انتهای رشد رویشی و (۳) رشد زایشی را نشان می‌دهد. در فصل بهار، میانگین جذب آب سطوح شوری  $S_0$ ،  $S_1$  و  $S_2$  در مرحله زایشی بیشتر از مراحل ابتدایی و انتهای رشد رویشی بود اما در سطوح شوری  $S_3$  و  $S_4$  میانگین جذب آب در مرحله زایشی نسبت به مراحل ابتدایی و انتهای رشد رویشی کاهش یافت. علت کاهش جذب آب سطوح شوری  $S_3$  و  $S_4$  در مرحله زایشی احتمالاً به دلیل در معرض قرارگیری طولانی به سطح شوری بالا (اثرات اسمزی و سمیت یون) در شرایط تقاضای تبخیر بالا می‌باشد (Banˆon *et al.*, 2012). در فصل پاییز، میانگین جذب آب تمام سطوح شوری در مرحله زایشی نسبت به مراحل ابتدایی و انتهای رشد رویشی افزایش یافت. مقایسه میانگین آماری بر اساس آزمون t مستقل بین مراحل مختلف رشد گیاه

تقاضای تبخیر اتمسفر و مرحله رشد گیاه بستگی دارد. همچنین مطالعات گذشته به خوبی نشان داده است که حساسیت گیاهان به شوری در طول فصل رشد متغیر است (Saadat and Homae, 2015).

تفاوت جذب آب گیاه معنی دار شد. همچنین در سطح شوری  $S_1$  بین مرحله ابتدایی رشد رویشی و انتهایی رشد رویشی و در بالاترین سطح شوری ( $S_4$ ) بین مرحله انتهایی رشد رویشی و رشد زایشی تفاوت جذب آب معنی دار شد (جدول ۴). نتایج این تحقیق نشان داد که حساسیت گیاه به تنش شوری به سطح شوری،



شکل ۲- تغییرات جذب آب گیاه ذرت در سطوح شوری مختلف در (الف) فصل بهار و (ب) فصل پاییز



شکل ۳- مقادیر میانگین جذب آب در مراحل مختلف رشد تحت سطوح شوری مختلف در فصل بهار و پاییز

جدول ۴- مقایسه میانگین جذب آب ذرت در مراحل مختلف رشد در فصل بهار و پاییز

سطح شوری					مراحل رشد
S <sub>4</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>0</sub>	
فصل بهار					
-۱/۱۴ <sup>ns</sup>	۱/۲۱ <sup>ns</sup>	-۴/۶۹ <sup>**</sup>	-۳/۲۱ <sup>**</sup>	-۱۳/۲۷ <sup>**</sup>	ابتدایی رویشی-انتهایی رویشی
۱/۱۱ <sup>ns</sup>	۲/۶۷ <sup>**</sup>	-۶/۶۲ <sup>**</sup>	-۵/۷۱ <sup>**</sup>	-۲۵/۸۵ <sup>**</sup>	ابتدایی رویشی-زایشی
۱/۹۲ <sup>ns</sup>	۱/۳۶ <sup>ns</sup>	-۳/۳۷ <sup>**</sup>	-۳/۱۳ <sup>**</sup>	-۱۹/۰۳ <sup>**</sup>	انتهایی رویشی-زایشی
فصل پاییز					
-۰/۷۱ <sup>ns</sup>	-۱/۲۲ <sup>ns</sup>	-۱/۹۴ <sup>ns</sup>	-۲/۸۶ <sup>**</sup>	-۱/۹ <sup>ns</sup>	ابتدایی رویشی-انتهایی رویشی
-۶/۴۹ <sup>**</sup>	-۲/۹۶ <sup>**</sup>	-۳/۲۶ <sup>**</sup>	-۴/۹۸ <sup>**</sup>	-۳/۷۶ <sup>**</sup>	ابتدایی رویشی-زایشی
-۴/۹۳ <sup>**</sup>	-۱/۳۷ <sup>ns</sup>	-۱/۳۳ <sup>ns</sup>	-۱/۵۶ <sup>ns</sup>	-۱/۴۶ <sup>ns</sup>	انتهایی رویشی-زایشی

\*\*\*: معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد، \*\*: معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد، ns: غیرمعنی دار

اعداد داخل جدول مقادیر t بر اساس آزمون t مستقل را نشان می دهند

(2004) مطابقت دارد که عملکرد نسبی بالاتر برای شرایط تقاضای تبخیر پایین تر و عملکرد نسبی پایین تر برای شرایط تقاضای تبخیر بالاتر در سطح شوری ثابت به دست آوردند. بر طبق مدل نمایی ونگنوختن-هافمن، مقدار  $h_{0.50}$  به ترتیب در فصل بهار و پاییز برای جذب آب برابر با ۱۰/۱۳ و ۶/۴۷ دسی زیمنس بر متر و برای عملکرد گیاه برابر با ۷/۰۷ و ۹/۰۳ دسی زیمنس بر متر بود. بر اساس این نتایج، در شرایط تقاضای تبخیر بالا و پایین تغییرات کاهش جذب آب با افزایش تنش شوری بیشتر از تغییرات کاهش عملکرد می باشد. همچنین مقادیر ضریب P مدل نمایی در رابطه با برآورد جذب آب و عملکرد گیاه در دو فصل بهار و پاییز متفاوت بود و مقادیر بالاتری را در فصل پاییز نسبت به فصل بهار نشان داد که به دلیل تفاوت متغیرهای اقلیم شامل دما، تابش و رطوبت نسبی می باشد (Homaei et al., 2002). در این تحقیق، برآزش مدل نمایی ونگنوختن-هافمن بهتر از مدل خطی ماس-هافمن برای تبیین عملکرد گیاه در هر دو فصل بهار و پاییز می باشد. این نتایج با مطالعه Sarai Tabrizi et al., (2016) مطابقت دارد که مدل نمایی ونگنوختن-هافمن در شبیه سازی تابع کاهش عملکرد نسبی ریحان به تنش شوری دارای دقت بیشتری نسبت به مدل خطی ماس-هافمن می باشد. در مقابل، در فصل پاییز کارایی تخمین مدل خطی ماس-هافمن ( $nRMSE=1/882$ ) بهتر از مدل نمایی ونگنوختن-هافمن ( $nRMSE=3/464$ ) برای جذب آب گیاه بود و در فصل بهار مقادیر  $nRMSE$  مربوط به جذب آب در هر دو مدل تفاوت چندانی نداشتند (جدول ۵).

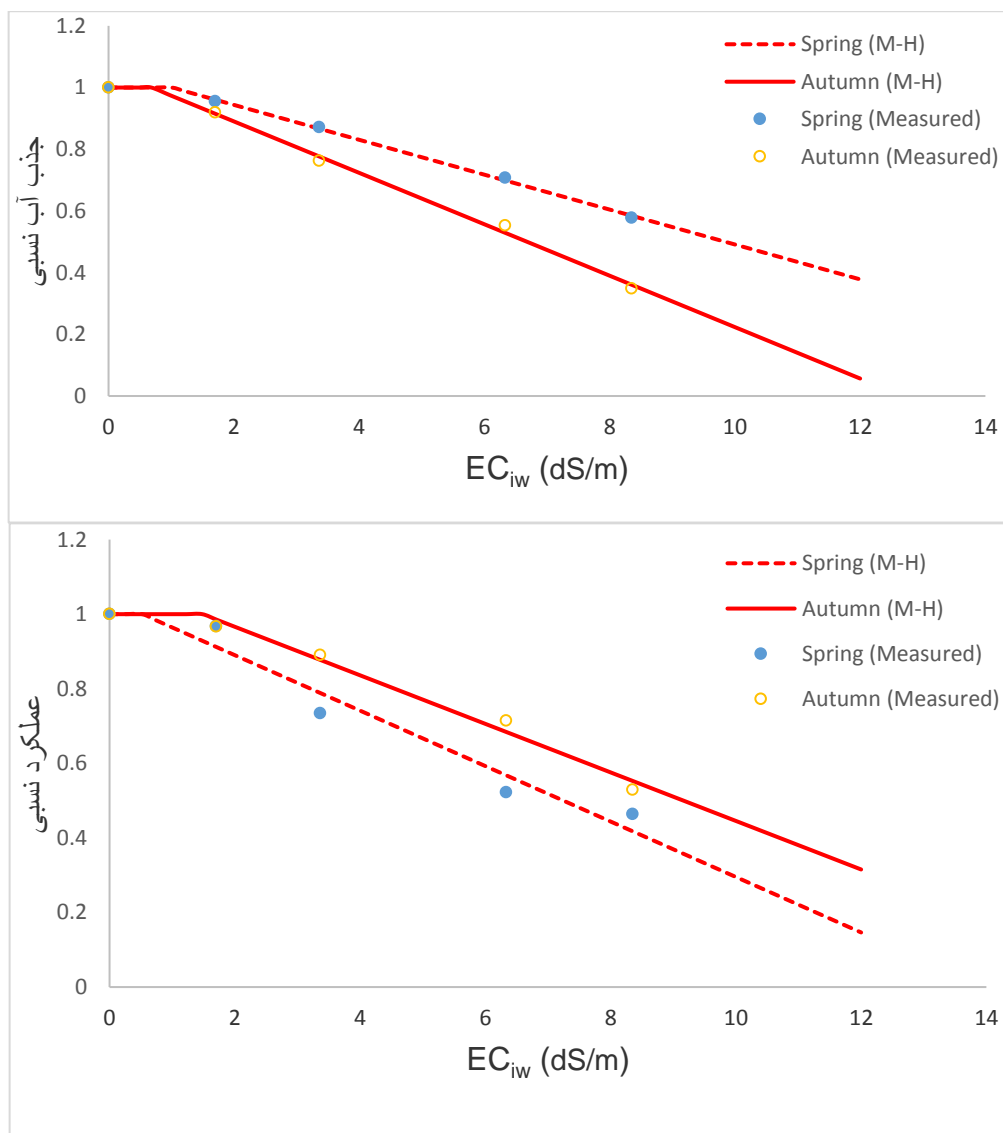
بر اساس نتایج مدل خطی ماس-هافمن، حد آستانه و درصد شیب کاهش جذب آب و عملکرد در فصل بهار و پاییز متفاوت بود. در شرایط تقاضای تبخیر بالا، مقادیر حد آستانه و شیب کاهش به ترتیب برای جذب آب گیاه برابر با ۱/۰۱ دسی زیمنس بر متر و ۵/۶ درصد داکامتر بر زیمنس و برای عملکرد گیاه برابر با ۰/۵۲ دسی زیمنس بر متر و ۷/۴ درصد داکامتر بر زیمنس بود. در مقابل، تحت شرایط تقاضای تبخیر پایین، مقادیر حد آستانه و شیب کاهش به ترتیب برای جذب آب گیاه ۰/۶۸ دسی زیمنس بر متر و ۸/۳ درصد داکامتر بر زیمنس و برای عملکرد گیاه ۱/۴۸ دسی زیمنس بر متر و ۶/۵ درصد داکامتر بر زیمنس به دست آمد. مقادیر این پارامترها بر اساس شوری محلول خاک می باشند و تفاوت نتایج حد آستانه و کاهش عملکرد بر اساس قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک و محلول خاک نشان می دهد که گیاهان به طور واقعی در معرض قابلیت هدایت الکتریکی محلول خاک هستند و به قابلیت هدایت الکتریکی محلول خاک پاسخ می دهند (De Jong van Lier et al., 2009). نتایج این مطالعه کاهش عملکرد کمتری به دلیل تنش شوری تحت رژیم تقاضای تبخیر پایین نسبت به تقاضای تبخیر بالا نشان داد. در فصل بهار، عملکرد گیاه در تیمارهای S<sub>1</sub>، S<sub>2</sub>، S<sub>3</sub> و S<sub>4</sub> به ترتیب ۳/۲۳، ۲۶/۶۱، ۴۷/۸۱، ۵۳/۶۳ درصد و در فصل پاییز، ۳/۲۹، ۱۰/۹۶، ۲۸/۶ و ۴۷/۰۱ درصد نسبت به تیمار شاهد (S<sub>0</sub>) کاهش یافت. این نتایج با مطالعه Abdel-Mawgoud et al.,



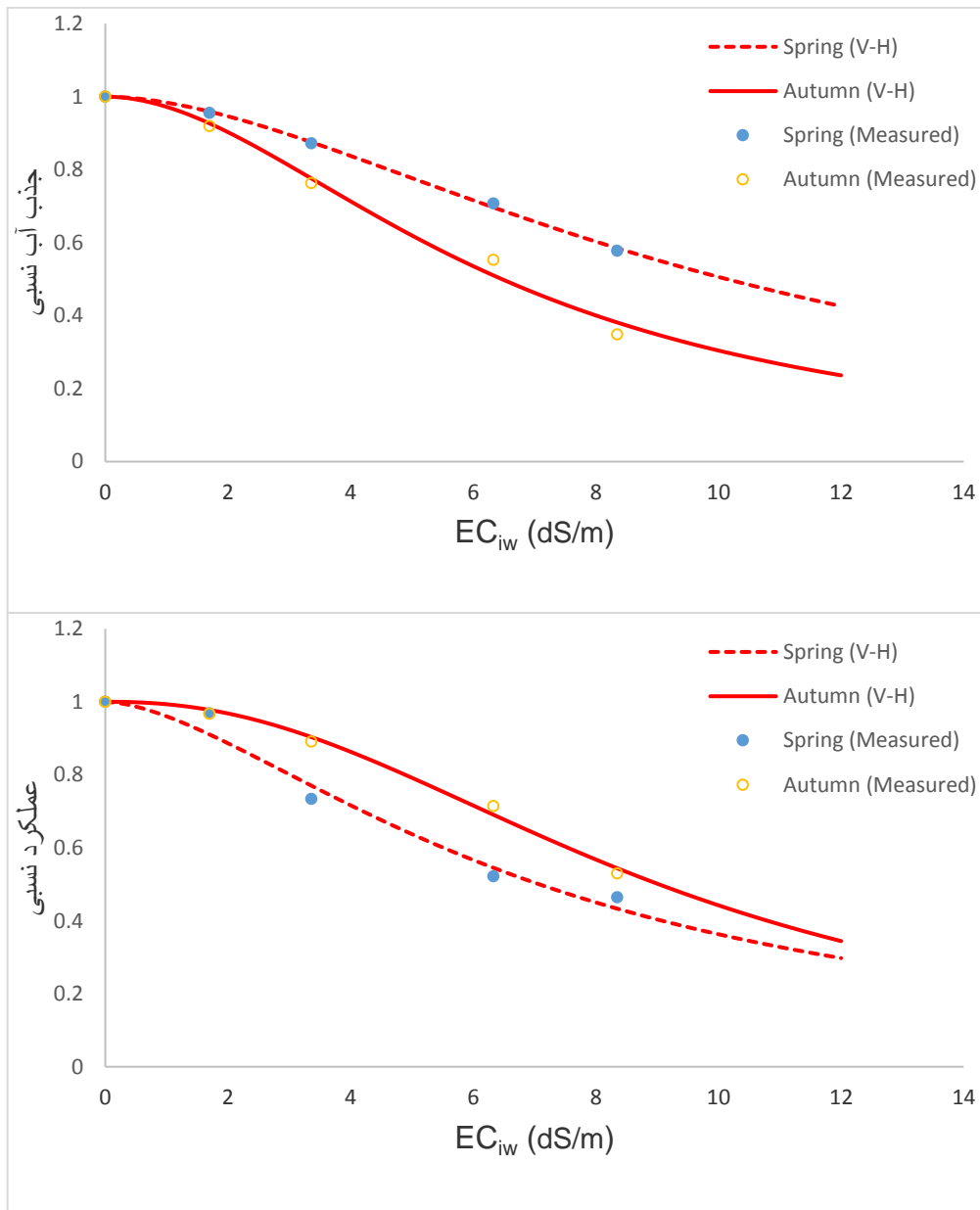
جدول ۵- مقادیر پارامترهای بهینه‌شده و آماره‌های ارزیابی مدل‌ها

آماره	پارامتر					ویژگی‌ها
	R <sup>2</sup>	nRMSE (%)	P	b (damS <sup>-1</sup> )	h <sub>0.50</sub> (dSm <sup>-1</sup> )	
فصل بهار						
۰/۹۹۹	۰/۷۱۶	-	۰/۰۵۶	-	۱/۰۱	جذب آب (M-H)
۰/۹۵۷	۶/۱۶۳	-	۰/۰۷۴	-	۰/۵۲	عملکرد (M-H)
۰/۹۹۸	۰/۷۶۳	۱/۷۶	-	۱۰/۱۳	-	جذب آب (V-H)
۰/۹۷۵	۴/۷۳۵	۱/۶۲	-	۷/۰۷	-	عملکرد (V-H)
فصل پاییز						
۰/۹۹۷	۱/۸۸۲	-	۰/۰۸۳	-	۰/۶۸	جذب آب (M-H)
۰/۹۸۷	۲/۴۱۳	-	۰/۰۶۵	-	۱/۴۸	عملکرد (M-H)
۰/۹۸۹	۳/۴۶۴	۱/۹	-	۶/۴۷	-	جذب آب (V-H)
۰/۹۹۳	۱/۷۶۸	۲/۲۶	-	۹/۰۳	-	عملکرد (V-H)

M-H: مدل خطی ماس-هافمن، V-H: مدل نمایی ونگنوختن-هافمن، h<sub>0</sub><sup>\*</sup>: حد آستانه شوری، h<sub>0.50</sub>: مقدار شوری که جذب آب و عملکرد به ۵۰ درصد جذب آب و عملکرد بالقوه کاهش می‌یابد، b: شیب کاهش جذب آب و عملکرد بعد از حد آستانه شوری، P: ضریب تجربی مدل نمایی



شکل ۴- برازش مدل ماس-هافمن (M-H) بر جذب آب و عملکرد نسبی ذرت در فصل بهار و پاییز



شکل ۵- برازش مدل ونگنوختن-هافمن (V-H) بر جذب آب و عملکرد نسبی ذرت در فصل بهار و پاییز

### نتیجه‌گیری کلی

به دست آمد. بر اساس این نتایج، عامل تقاضای تبخیر اتمسفر در توابع کاهش گیاهان تحت تنش شوری دخیل می‌باشد و شوری تنها عامل کنترل‌کننده کاهش عملکرد نیست. همچنین، ارزیابی توابع کاهش نشان داد که کارایی تخمین مدل نمایی بر داده‌های اندازه‌گیری شده عملکرد گیاه بهتر از مدل خطی بود، در حالی که تبیین کاهش جذب آب در شرایط تقاضای تبخیر پایین توسط مدل خطی بهتر از مدل نمایی شرح داده شد. با توجه به نتایج این مطالعه، در نظر گرفتن عامل تقاضای تبخیر جهت مدیریت مصرف آب‌های شور و میزان نیاز آبیاری خاک بسیار مهم و تأثیرگذار می‌باشد.

نتایج تحقیق نشان داد که الگوی جذب آب گیاه در شرایط شور تحت تأثیر تقاضای تبخیر اتمسفر می‌باشد. برهمکنش تقاضای تبخیر بالا و تنش شوری، عملکرد نسبی پایین‌تر و جذب آب نسبی بالاتری را نسبت به برهمکنش تقاضای تبخیر پایین و تنش شوری نشان داد. به‌طور کلی، تقاضای تبخیر پایین اثرات مضر شوری بالا بر عملکرد را از طریق بهبود وضعیت آب و رشد گیاه کاهش داد. مقادیر حد آستانه کاهش عملکرد به ترتیب در شرایط تقاضای تبخیر بالا و پایین برابر با ۰/۵۲ و ۱/۴۸ دسی‌زیمنس بر متر و شیب کاهش عملکرد برابر با ۷/۴ و ۶/۵ درصد داکازیمنس بر متر

### REFERENCES

Abdel-Mawgoud, A. M. R., El-Abd, S. O., Stanghellini, C., Böhme, M., & Abou-Hadid, A. F. (2004). Sweet pepper crop responses to greenhouse

climate manipulation under saline conditions. *Acta Hort.* 659, 431-438.

Ban˜on S, Miralles J, Ochoa J, Sa˜nchez-Blanco MJ

- (2012) The effect of salinity and high boron on growth, photosynthetic activity and mineral contents of two ornamental shrubs. *Hort Sci (Prague)* 39:188–194.
- Braud, I., Varado, N., Oliso, A. (2005). Comparison of root water uptake modules using either the surface energy balance or potential transpiration. *J. Hydrol.* 301, 267–286.
- Brown, C. E., Pezeshki, S. R., & DeLaune, R. D. (2006). The effects of salinity and soil drying on nutrient uptake and growth of *Spartina alterniflora* in a simulated tidal system. *Environ. and Exp. Botany.* 58(1-3), 140-148.
- Chaali, N., Comegna, A., Dragonetti, G., Todorovic, M., Albrizio, R., Hijazeen, D., Lamaddalena, N., Coppola, A. (2013). Monitoring and modeling root-uptake salinity reduction factors of a tomato crop under non-uniform soil salinity distribution. *Procedia Environmental Sciences.* 19, 643-653.
- Chamekh, Z., Karmous, C., Ayadi, S., Sahli, A., Hammami, Z., BelhajFraj, M., Benaissa, N., Trifa, Y., Slim-Amara, H. (2015). Stability analysis of yield component traits in 25 durum wheat (*Triticum durum* Desf.) genotypes under contrasting irrigation water salinity. *Agric. Water Manage.* 152, 1–6.
- Chen, T. W., Nguyen, T., Kahlen, K., & Stützel, H. (2015). High temperature and vapor pressure deficit aggravate architectural effects but ameliorate non-architectural effects of salinity on dry mass production of tomato. *Frontiers in plant science*, 6, 887.
- Choudhary, S., Vadez, V., Hash, C. T., & Kishor, P. K. (2019). Pearl Millet Mapping Population Parents: Performance and Selection Under Salt Stress Across Environments Varying in Evaporative Demand. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*, 89(1), 201-211.
- De Jong van Lier, Q., Van Dam, J. C., Metselaar, K. (2009). Root water extraction under combined water and osmotic stress. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 73, 862-875.
- Gee, G.W., Or, D. (2002). Particle-size analysis, In 'Methods of Soil Analysis: Part 4. Physical Methods' (Eds JH Dane, GC Topp) pp. 255-293. (Madison: SSSA Book Series).
- Homaei, M., & Schmidhalter, U. (2008). Water integration by plants root under non-uniform soil salinity. *Irrig. Sci.* 27(1), 83-95.
- Homaei, M., Feddes, R.A., Dirksen, C. (2002). A macroscopic water extraction model for nonuniform transient salinity and water stress. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66, 1764–1772.
- Ityel, E., Lazarovitch, N., Silberbush, M., & Ben-Gal, A. (2012). An artificial capillary barrier to improve root-zone conditions for horticultural crops: Response of pepper plants to matric head and irrigation water salinity. *Agric. water manage.* 105, 13-20.
- Jalali, V., Kapourchal, S. A., & Homaei, M. (2017). Evaluating performance of macroscopic water uptake models at productive growth stages of durum wheat under saline conditions. *Agric. Water Manage.* 180, 13-21.
- Jamil, A., Riaz, S., Ashraf, M., Foolad, MR. (2011). Gene expression profiling of plants under salt stress. *Critical Reviews in Plant Sciences.* 30, 435-458.
- Jones, H.G. (1992). *Plants and Microclimate*, 2nd ed. Cambridge University Press, Cambridge.
- Katerji, N., van Hoorn, J.W., Hamdy, A., Karam, F., Mastrorilli, M. (1994). Effect of salinity on emergence and on water stress and early seedling growth of sunflower and maize. *Agric. water manage.* 26, 81-91.
- Katerji, N., van Hoorn, J.W., Hamdy, A., Mastrorilli, M. (2004). Comparison of corn yield response to plant water stress caused by salinity and by drought. *Agric. Water Manage.* 65, 95-101.
- Kubala, S., Wojtyla, L., Quinet, M., Lechowska, K., Lutts, S., Garnczarska, M. (2015). Enhanced expression of the proline synthesis gene P5CSA in relation to seedosmopriming improvement of *Brassica napus* germination under salinity stress. *J. Plant Physiol.* 183, 1–12.
- Li, K.Y., De Jong, R., Boisvert, J.B. (2001). An exponential root water uptake model with water stress compensation. *J. Hydrol.* 252, 189–204.
- Maas, E. V. (1990). *Agricultural salinity assessment and management*. Asce manuals and reports on engineering. New York: American Society of Civil Engineers. 262-304.
- Maas, E. V., & Grattan, S. R. (1999). Crop yields as affected by salinity. *Agronomy.* 38, 55-110.
- Maas, E. V., and Hoffman, G. J. (1977). Crop salt tolerance: Current assessment. *J. Irrig. Drain. Div. ASCE.* 103, 115-134.
- Meiri, A., Hoffman, G.J., Shannon, M.C., Poss, J.A. (1982). Salt tolerance of two muskmelon cultivars under two radiation levels. *J. Amer. Soc. Hortic. Sci.* 107, 1168–1172.
- Meskini-Vishkaee, F., Mohammadi, M.H., Neyshabouri, M.R. (2018). Revisiting the wet and dry ends of soil integral water capacity using soil and plant properties. *Soil Research.* 56, 331-345.
- Minasny, B., McBratney, A. (2002). The efficiency of various approaches to obtaining estimates of soil hydraulic properties. *Geoderma.* 107, 55-70.
- Munns, R., & Gilliam, M. (2015). Salinity tolerance of crops—what is the cost? *New phytologist.* 208(3), 668-673.
- Navabian, M., Aghajani, M., Rezaei, M. (2014). Determination of the best water uptake model for rice (*Oryza sativa*) under simultaneous salinity and drought stress conditions. *Journal of Water and soil science.* 18(70), 91-99. (In Farsi)
- Rhoades, J. D. (1996). salinity: Electrical Conductivity and Total Dissolved Solid. P. 417-435. In: sparks, D. L., Helmke, P. A., Leppet, R. H., Soltanpour, P. N. Tabatabai, M. A., Johnston, C. T. and Summer, M. E. (Eds), *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical Methods* Soil Science Society

- American Inc. Book series, No. 5, Madison, WI, USDA.
- Saadat, S., Homaei, M. (2015). Modeling sorghum response to irrigation watersalinity at early growth stage. *Agric. Water Manage.* 152, 119–124.
- Sarai Tabrizi, M., Babazadeh, H., Homaei, M., Kaveh, F., Parsinejad, M. (2016). Determining the threshold Value of Basil Yield Reduction and Evaluation of Water Uptake Models under Salinity Stress Condition. *Journal of Water and soil science.* 30(1), 30-40. (In Farsi)
- Schiattone, M.I., Candido, V., Cantore, V., Montesano, F.F., Boari, F. (2017). Water use and crop performance of two wild rocket genotypes under salinity conditions. *Agric. Water Manage.* 194, 214-221.
- Shannon MC, Grieve CM, Francois LE. (1994). Whole-plant response to salinity. In: Wilkinson RE (ed) *Plant-environment interactions*. Dekker, New York.
- Shibuya, T., Kano, K., Endo, R., & Kitaya, Y. (2018). Effects of the interaction between vapor-pressure deficit and salinity on growth and photosynthesis of *Cucumis sativus* seedlings under different CO<sub>2</sub> concentrations. *Photosynthetica*, 1-8.
- Skaggs TH, van Genuchten MT, Shouse PJ, Poss JA. (2006). Macroscopic approaches to root water uptake as a function of water and salinity stress. *Agric. Water Manage.* 86, 140–149.
- Soil Survey Staff. (2014). *Soil taxonomy*, 12th ed. Washington DC: USDANRCS, Washington DC, USA.
- Tack, J., Singh, R. K., Nalley, L. L., Viraktamath, B. C., Krishnamurthy, S. L., Lyman, N., & Jagadish, K. S. (2015). High vapor pressure deficit drives salt-stress-induced rice yield losses in India. *Global change biology*, 21(4), 1668-1678.