



## Assessment of yield and yield components production function of safflower under deficit irrigation and different salinity levels

Mahdi Mokari<sup>1</sup> | Javad Alaei<sup>2</sup> | Amir Hossein Ghaderi<sup>3</sup>

1. Corresponding Author, Department of Water Engineering, Kashmar Higher Education Institute, Kashmar, Iran.

E-mail: [m.mokari@kashmar.ac.ir](mailto:m.mokari@kashmar.ac.ir)

2. Department of Water Engineering, Gorgan University of Agriculture and Natural Resources, Gorgan, Iran.

E-mail: [Javad.alaei1374@gmail.com](mailto:Javad.alaei1374@gmail.com)

3. Department of Water Engineering, Gorgan University of Agriculture and Natural Resources, Gorgan, Iran.

E-mail: [Amir.hossin.gh1373@gmail.com](mailto:Amir.hossin.gh1373@gmail.com)

---

### Article Info

**Article type:** Research Article

**Article history:**

**Received:** July. 20, 2023

**Revised:** Sep. 25, 2023

**Accepted:** Sep. 25, 2023

**Published online:** Nov. 22, 2023

**Keywords:**

Irrigation Management,  
Quadratic Function,  
Salinity Tolerance Threshold,  
Simultaneous Stress.

---

### ABSTRACT

In order to manage application of saline water in irrigated lands and coping with crisis of water resources scarcity in arid and semi-arid regions, it is logical to obtain the optimum yield-salinity-water production functions for crops. In this way, a greenhouse experiment with three irrigation treatments including 100, 75 and 50 percent of water requirement and four salinity levels of irrigation water including 0.7, 4, 8, and 12 dS m<sup>-1</sup>, as a factorial in the form of a completely randomized block design with three replications was conducted in Kashmar region. The objective of this study was to determine the optimum yield-water-salinity production function of safflower. The crop production functions used in this study were linear, Cobb-Douglas, quadratic and transcendental functions. For assessing the accuracy and efficiency of these functions in predicting yield and yield components of safflower, the statistics of mean absolute error, normal root mean square error, determination coefficient, efficiency function and agreement index were used. Additionally, the plant salinity resistance threshold was determined by Mass-Hoffman linear model. The results showed among the applied functions, the quadratic function the lowest NRMSE and the highest R<sup>2</sup>, had the most efficiency in predicting yield and yield components of safflower in simultaneous salinity and drought stress conditions. According to Mass-Hoffman linear model, grain yield relative reduction by 10 percent, in salinity of 3.75 dS m<sup>-1</sup> and grain yield relative reduction by 25 and 50 percent were occurred in salinity of 6.75 and 11.75 dS m<sup>-1</sup>, respectively. According to the findings of this research it can be concluded that the quadratic equation is recommendable as the best yield-water-salinity production function of safflower in pot conditions. Since, crop production functions are dependent to soil type, weather and climate conditions and water management in the field, more comprehensive studies should be done in the field conditions for determining the best yield-water-salinity production function of safflower.

---

Cite this article: Mokari, M., Alaei, J., & Ghaderi, A. H. (2023) Assessment of yield and yield components production function of safflower under deficit irrigation and different salinity levels, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 54 (9), 1319-1336. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.362564.669539>

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.362564.669539>



## ارزیابی تابع تولید عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ در شرایط کم آبیاری و سطوح مختلف شوری

مهدی مکاری<sup>۱</sup> | جواد علایی<sup>۲</sup> | امیرحسین قادری<sup>۳</sup>۱. نویسنده مسئول، گروه مهندسی آب، مرکز آموزش عالی کاشمر، کاشمر، ایران. رایانامه: [m.mokari@kashmar.ac.ir](mailto:m.mokari@kashmar.ac.ir)۲. گروه مهندسی آب، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: [Javad.alaei1374@gmail.com](mailto:Javad.alaei1374@gmail.com)۳. گروه مهندسی آب، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: [Amir.hossin\\_gh1373@gmail.com](mailto:Amir.hossin_gh1373@gmail.com)

## اطلاعات مقاله

## چکیده

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۴/۲۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۷/۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۷/۳

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۹/۱

## واژه‌های کلیدی:

آستانه تحمل به شوری،  
تابع درجه دوم،  
تنش هم‌زمان،  
مدیریت آبیاری.

به منظور مدیریت مصرف آب‌های شور در اراضی تحت آبیاری و همچنین مقابله با بحران کمیابی منابع آبی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، دست یافتن به توابع تولید بهینه آب-شوری-عملکرد محصولات زراعی، راه حل منطقی به نظر می‌رسد. در همین راستا پژوهشی گلخانه‌ای با سه تیمار آبیاری ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی و چهار سطح شوری ۰/۷، ۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر به صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در شهرستان کاشمر به انجام رسید. هدف از انجام پژوهش تعیین بهترین تابع تولید آب-شوری-عملکرد گیاه گلرنگ بود. توابع تولید استفاده شده در این پژوهش خطی، درجه دوم، کاب داگلاس و متعالی بودند. جهت ارزیابی دقت و کارآمدی این توابع در پیش‌بینی عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ، از پارامترهای آماری میانگین مطلق خطا (MAE)، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال (NRMSE)، ضریب تبیین ( $R^2$ )، کارایی مدل‌سازی (EF) و شاخص توافق (d) استفاده گردید. همچنین حد آستانه تحمل به شوری گیاه با استفاده از مدل خطی ماس-هافمن تعیین گردید. نتایج نشان داد در بین توابع استفاده شده، تابع درجه دوم با کم‌ترین NRMSE و بیش‌ترین  $R^2$  بهترین کارایی را در پیش‌بینی عملکرد دانه و اجزای آن در شرایط توأم شوری و تنش خشکی داشت. مطابق با مدل خطی ماس-هافمن، کاهش عملکرد نسبی دانه به میزان ۱۰ درصد در شوری ۳/۷۵ دسی‌زیمنس بر متر و کاهش ۲۵ و ۵۰ درصدی عملکرد دانه به ترتیب در شوری ۶/۷۵ و ۱۱/۷۵ دسی‌زیمنس بر متر اتفاق افتاد. با توجه به یافته‌های این پژوهش می‌توان تابع درجه دوم را به عنوان بهترین تابع تولید آب-شوری-عملکرد گلرنگ در شرایط کاشت گلدانی توصیه نمود. البته با توجه به وابستگی توابع تولید به نوع خاک، شرایط آب و هوایی و اقلیمی منطقه و روش‌های مدیریت آب در مزرعه، مطالعات جامع‌تری در خصوص معرفی بهترین تابع تولید آب-شوری-عملکرد گلرنگ در شرایط مزرعه احساس می‌گردد.

استناد: مکاری، مهدی، علایی، جواد، قادری، امیرحسین، (۱۴۰۲) ارزیابی تابع تولید عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ در شرایط کم آبیاری و سطوح مختلف شوری، مجله

تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۴ (۹)، ۱۳۳۶-۱۳۱۹. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.362564.669539>

© نویسنده‌گان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.362564.669539>

## مقدمه

توجه به مدیریت مصرف آب در بخش کشاورزی به عنوان مصرف کننده اصلی آب در ایران امری ضروری و حیاتی به شمار می‌رود. افزایش جمعیت و به تبع آن افزایش مصرف آب در بخش‌های مختلف نظیر صنعت و آب شرب شهری، استفاده کارآمدتر از آب آبیاری در بخش کشاورزی را حائز اهمیت نموده است (Tafteh et al., 2013). یکی از مسائل و مشکلات مهم و قابل بحث در بخش کشاورزی، کمبود منابع آبی برای استفاده در اراضی تحت آبیاری می‌باشد. برای مقابله با این موضوع راهکارهای مدیریتی مختلفی وجود دارد که برخی از آن‌ها عبارتند از: افزایش ذخیره رطوبتی خاک در زمان کاشت، افزایش امکان استفاده گیاه از آب موجود در خاک، کاهش تبخیر از سطح خاک، رسیدن به عمق بهینه آبیاری برای محصولات زراعی، افزایش مقاومت گیاه به تنش خشکی و آبیاری در مراحل بحرانی رشد گیاه و جلوگیری از بروز تنش خشکی به گیاه در این مراحل (Debaeke & Aboudrare., 2004).

علاوه بر کمبود منابع آب، شوری خاک و آب آبیاری نیز محدودیت جدی دیگری برای تولید محصولات زراعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان به شمار می‌رود (Royo et al., 2000). آبیاری اراضی کشاورزی با آب شور در مناطق خشک و نیمه‌خشک منجر به تجمع نمک در پروفیل خاک می‌گردد که در نتیجه آن خاک تخریب و عملکرد محصولات زراعی کاهش می‌یابد. بنابراین به کارگیری استراتژی‌های مدیریتی مناسب برای استفاده از آب آبیاری شور در اراضی تحت آبیاری جهت رسیدن به عملکرد بهتر محصولات زراعی نیز امری لازم و ضروری به شمار می‌رود (Ould Ahmed et al., 2007). برخی از استراتژی‌های مدیریتی جهت استفاده از آب‌های شور عبارتند از: استفاده متناوب از آب شور و شیرین و استفاده از آب شیرین در مراحل اولیه رشد گیاه. در ایران نیز کمبود منابع آبی و شور شدن این منابع تهدید جدی برای کاهش عملکرد محصولات زراعی در بسیاری از مناطق به شمار می‌رود (Feizi et al., 2010). از این رو تلاش برای بهینه‌سازی محصول تولیدی در ازای مصرف هر چه کم‌تر آب و برنامه‌ریزی مناسب جهت افزایش تولیدات کشاورزی در شرایط خاص (محدودیت شوری) منطقی به نظر می‌رسد. از جمله روش‌های بهینه‌سازی تولیدات کشاورزی استفاده از توابع تولید می‌باشد. تعیین تابع تولید راه را برای برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری تولیدات کشاورزی هموار می‌کند (شیرمحمدی علی اکبر خانی و همکاران، ۱۳۹۲). به‌طور کلی برای برآورد توابع تولید دو روش مورد استفاده قرار می‌گیرد. روش اول بر اساس مدل‌های نظری و تجربی رابطه آب-عملکرد؛ شوری-عملکرد یا آب-شوری-عملکرد را به‌صورت کمی بیان می‌کند. در روش دوم، توابع تولید با بررسی اثر مقادیر مختلف کمی و کیفی آب آبیاری بر عملکرد گیاهان، به‌صورت مشاهدات مزرعه‌ای و با استفاده از تحلیل آماری برآورد می‌گردند. توابع تولید آب-محصول که بیان‌کننده رابطه بین عملکرد محصول (عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه) و مقدار آب مصرفی توسط محصول در طی فصل رشد هستند، ابزار مهمی برای کمی کردن اثرات کمیابی آب بر تولید محصولات کشاورزی هستند (Foster & Brozovic., 2018). در واقع با استفاده از توابع تولید آب-عملکرد محصول می‌توان به یک رابطه ریاضی بین مقدار محصول و میزان آب مصرفی دست یافت که در نتیجه آن محاسبه عمق آب آبیاری بهینه برای رسیدن به عملکرد اقتصادی مطلوب، میسر خواهد شد.

گلرنگ به عنوان یک گونه گیاهی نسبتاً مقاوم به شوری در مناطق خشک و نیمه‌خشک که شوری می‌تواند تهدیدی جدی برای رشد گیاهان باشد، کشت می‌گردد (Mousavi Zadeh Mojarad et al., 2018). سطح زیر کشت این گیاه روغنی بومی در کشور حدود ۲۰ هزار هکتار است که در افق ۱۴۰۴ قرار است به ۴۰ هزار هکتار نیز برسد (اداره کل پنبه، دانه‌های روغنی و گیاهان صنعتی، ۱۳۹۳). گلرنگ یک محصول دانه روغنی مهم با بیش از ۴۰-۳۵ درصد روغن است که از روغن آن در مصارف خوراکی از زمان‌های قدیم استفاده می‌شده است (Kolsaric et al., 2005). گلرنگ یکی از گیاهان بومی منطقه خاور میانه است که به خاطر داشتن دانه‌های روغنی با بیش از ۹۰ درصد اسیدهای چرب غیراشباع و خصوصیات زراعی مطلوب از قبیل مقاومت در برابر تنش شوری، خشکی و سرمای زمستان همواره مورد توجه بوده است (Kikhezaleh et al., 2023). بر اساس مطالعات انجام شده تنش آبی در طی مرحله گلدهی این گیاه باعث جلوگیری از گرده افشانی می‌گردد که در نتیجه آن تعداد دانه‌های تشکیل شده کاهش می‌یابد و در نهایت عملکرد دانه گیاه تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Seghatoleslami et al., 2008). Farahbakhsh et al (2023) نیز نشان دادند که برای یک تیمار کودی ثابت، افزایش تنش شوری و خشکی باعث کاهش عملکرد ریحان گردید.

در خصوص توابع تولید آب-شوری-عملکرد و یا آب-عملکرد محصولات زراعی و باغی مطالعات بسیاری مورد بررسی قرار گرفته است. در همین رابطه، مکاری و همکاران (۱۳۹۹) بهترین تابع تولید آب-شوری-عملکرد شلغم در منطقه کاشمر را تابع درجه دوم معرفی نمودند. دهقان و همکاران (۱۳۹۹) نیز بهترین تابع تولید آب-شوری-عملکرد اسفناج در منطقه کاشمر را تابع درجه دوم گزارش نمودند. عبدزادگوهری و همکاران (۱۳۹۶) عملکرد و توابع تولید ارقام مختلف بادام زمینی را به ازای مقادیر مختلف آب آبیاری و شوری مورد مطالعه



قرار دادند. آن‌ها پژوهش خود را به صورت کرت‌های دوبار خرد شده در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در طی دو سال انجام دادند. عامل اصلی در آزمایش آن‌ها چهار تیمار آبیاری شامل ۱۰۰، ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد تأمین نیاز آب آبیاری، عامل فرعی چهار تیمار شوری آب آبیاری شامل ۱، ۳، ۵ و ۷ دسی‌زیمنس بر متر و عامل فرعی چهار رقم بادام زمینی بودند. نتایج نشان داد که مقاومت ارقام مختلف بادام زمینی به شوری متفاوت بود و از طرفی افزایش شوری آب آبیاری باعث کاهش معنی‌دار مؤلفه‌های عملکرد گردید. بیش‌ترین عملکرد دانه در سطح شوری ۱ دسی‌زیمنس بر متر به دست آمد. به طور کلی بیش‌ترین عملکرد دانه در تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی و سطح شوری ۱ دسی‌زیمنس بر متر به دست آمد. اسدی و همکاران (۱۳۹۷) جهت بهینه کردن مصرف آب آبیاری در شرایط استفاده از مقادیر مختلف کود نیتروژن پژوهشی را در خصوص به دست آوردن بهترین تابع تولید آب-عملکرد سویا انجام دادند. تیمارهای آبیاری در مطالعه آن‌ها شامل آبیاری کامل، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد نیاز آبی و تیمارهای کودی شامل ۱۵۰، ۱۱۲/۵ و ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن بودند. نتایج نشان داد که در بین توابع تولید خطی، کاب-داگلاس، درجه دوم و متعالی، تابع تولید متعالی مدل مناسبی برای عملکرد سویا بود. آن‌ها در مطالعه خود مقدار بهینه آب آبیاری را ۲۳۰ میلی‌متر گزارش کردند. (Kiani & Abbasi (2009) تابع تولید آب-شوری-عملکرد گندم را در استان گلستان مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها در پژوهش خود از چهار تیمار آبیاری ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد نیاز آبیاری و چهار تیمار شوری ۱/۵، ۸/۵، ۱۱/۵ و ۱۴/۲ دسی‌زیمنس بر متر استفاده نمودند. داده‌ها با استفاده از توابع خطی، کاب-داگلاس، درجه دوم و متعالی به همراه تحلیل اقتصادی آنالیز شدند. نتایج نشان داد که در شرایط خاک و اقلیم منطقه مورد مطالعه، تابع متعالی بهترین پیش‌بینی را از عملکرد گندم در شرایط تنش شوری و خشکی داشت. (Shen et al (2020) بررسی توابع تولید آب-محصول در گندم زمستانه حد بهینه عمق آب آبیاری را برای رسیدن به بالاترین عملکرد دانه را ۴۵ میلی‌متر گزارش نمودند. آن‌ها همچنین در مطالعه خود رابطه درجه دوم بین عملکرد دانه و تبخیر و تعرق واقعی را به دست آوردند. شیرمحمدی علی اکبر خانی و همکاران (۱۳۹۲) تابع درجه دوم را به عنوان بهترین تابع تولید آب-شوری-عملکرد ذرت علوفه‌ای در استان خراسان رضوی عنوان نمودند. در سایر مطالعات انجام شده در این زمینه نیز (Datta et al (1998) صالحی و همکاران (۱۳۹۰) و نجفی مود و همکاران (۱۳۹۱) تابع درجه دوم را به ترتیب برای گندم، کوشیا و پنبه به عنوان بهترین تابع تولید آب-شوری-عملکرد گزارش نمودند.

دشت کاشمر جزء دشت‌های ممنوعه بحرانی از نظر منابع آب در استان خراسان رضوی و در کشور به شمار می‌رود و اکثر چاه‌های کشاورزی در این منطقه دارای شوری بالا هستند به گونه‌ای که در برخی از مناطق دشت کاشمر شوری تا ۱۸ دسی‌زیمنس بر متر هم گزارش شده است (بی‌نام، ۱۳۹۷)، به منظور مدیریت مصرف بهینه‌ی آب در کشاورزی، ضرورت انجام پژوهش‌هایی در زمینه تعیین بهترین تابع تولید آب-شوری-عملکرد محصولات زراعی از جمله گیاهان دانه روغنی نظیر کلزا، کنجد، کاملینا و گلرنگ در آن احساس می‌گردد. منطقه کاشمر از مناطق خشک و دارای منابع آب و خاک شور است. این منطقه مستعد کشت گلرنگ بوده و توسعه کشت آن نیازمند ارزیابی حساسیت این گیاه در شرایط توأمان تنش شوری و خشکی جهت تعیین بهترین تابع تولید آب-شوری برای عملکرد و اجزای عملکرد است. لذا در این پژوهش سعی گردید تابع تولید بهینه عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ در شرایط اعمال تنش خشکی و آبیاری با آب شور، در گلخانه و در شرایط کاشت گلدانی، مورد بررسی قرار گیرد.

## مواد و روش‌ها

این پژوهش در زمستان سال ۱۴۰۰ و بهار سال ۱۴۰۱ در گلخانه‌ای در منطقه کاشمر اجرا شد. شهر کاشمر در ۳۵ درجه و ۱۲ دقیقه عرض جغرافیایی و ۵۸ درجه و ۳۰ دقیقه طول جغرافیایی واقع شده و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۱۰۹/۷ متر است. متوسط بارندگی سالانه‌ی منطقه ۱۹۲/۱ میلی‌متر می‌باشد. به منظور کنترل بهتر شرایط حاکم بر آزمایش از نظر اعمال تیمارهای آبیاری و شوری؛ جلوگیری از سرمازدگی و از بین رفتن گیاه در زمستان و ممانعت از ایجاد اشکال و خطا در تیمارهای کم‌آبیاری در اثر رخداد بارندگی، از پژوهش گلدانی و محیط داخل گلخانه استفاده شد. کمپنه‌ی دمای داخل گلخانه ۳ و بیشینه‌ی آن ۴۷ درجه سانتی‌گراد بود. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. عامل‌های آزمایش سه سطح آب آبیاری شامل  $W_0 = 100\%$ ،  $W_1 = 75\%$  و  $W_2 = 50\%$  نیاز آبی و چهار سطح شوری شامل  $S_0 = 0/7$ ،  $S_1 = 4$ ،  $S_2 = 8$  و  $S_3 = 12$  دسی‌زیمنس بر متر بودند که در خاک لومی شنی (خاک غالب مناطق کاشمر که در آن‌ها گلرنگ کاشت می‌شود) اعمال شدند. نقشه‌ی شماتیک طرح آزمایشی در شکل (۱) و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و آب مورد مطالعه در جدول‌های (۱) و (۲) ارائه شده است.

تکرار اول	S2W2	S2W0	S0W2	S2W1	S1W0	S3W1	S0W0	S3W0	S0W1	S1W2	S3W2	S1W1
تکرار دوم	S1W0	S0W2	S2W2	S3W0	S3W1	S3W2	S2W1	S1W1	S0W1	S0W0	S2W0	S1W2
تکرار سوم	S2W2	S0W0	S1W1	S0W2	S3W1	S1W0	S3W0	S2W0	S1W2	S0W1	S3W2	S2W1

شکل ۱. نقشه‌ی شماتیک طرح آزمایشی

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی - شیمیایی خاک استفاده شده در گلدان‌ها قبل از اعمال تیمارها

بافت خاک	نسبت شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	کل آهک خاک (%)	سدیم (mg kg <sup>-1</sup> )	پتاسیم (mg kg <sup>-1</sup> )	فسفر (mg kg <sup>-1</sup> )	نیترژن (%)	O.C (%)	SAR	EC (dS m <sup>-1</sup> )	PH
لومی شنی	۷۱	۱۷	۱۲	۱۴/۶	۲۰۲/۹۱	۱۷۳/۵۲	۲/۹	۰/۰۳	۰/۴۲	۵/۸۹	۱/۳۴	۷/۴۹

جدول ۲. نتایج تجزیه شیمیایی آب شرب و آب شور (چاه عمیق)

SAR	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	pH	EC (dS m <sup>-1</sup> )	نام منبع
(mg l <sup>-1</sup> )										
۰/۶۹	۱۷۰/۸	۲۹/۷۵	۱۴/۴	۱۰۷/۲	۱۴/۸۸	۲۰/۴۷	۰/۷۸	۷/۷۵	۰/۷	آب شرب
۲۴/۱۵	۲۱۹/۶	۴۱۱۲/۵	۲۶۲۵/۶	۵۷۶	۶۱۴/۴	۲۴۸۳/۳۱	۱۸/۷۲	۷/۲۵	۱۳/۸۲	آب شور (چاه عمیق)

برای کاشت از تعداد ۳۶ گلدان پلاستیکی با ابعاد ۳۰×۳۰×۳۰ سانتی‌متر استفاده شد که برای سهولت در زهکشی، در کف گلدان‌ها به ضخامت سه سانتی‌متر سنگریزه ریخته شد. پنج سانتی‌متر از لبه گلدان برای انجام آبیاری خالی در نظر گرفته شد و بقیه حجم آن به گونه‌ای از خاک پر گردید که وزن تمام گلدان‌ها ۱۴ کیلوگرم باشد. برای تعیین وزن گلدان‌ها در رطوبت معادل گنجایش مزرعه‌ای (FC) و هم‌چنین رفع شوری خاک، گلدان‌ها با آب شرب شهری اشباع و اجازه داده شد زهکشی تا ۴۸ ساعت انجام شود. بعد از این مدت گلدان‌ها با ترازی دیجیتالی با دقت یک صدم گرم وزن شده و این وزن به‌عنوان وزن گلدان‌ها در FC در نظر گرفته شد. برای تعیین مقدار آب مورد نیاز در هر آبیاری ابتدا گلدان‌ها وزن شدند و سپس از طریق اختلاف وزن اندازه‌گیری شده با وزن گلدان در ظرفیت زراعی و در نظر گرفتن ضریب تیمارهای آبیاری (۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد)، میزان آب لازم برای هر گلدان به‌دست آمد. تیمارهای شوری از طریق اختلاط آب زیرزمینی خیلی شور (شوری بالای ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) با آب شیرین (شوری ۰/۷ دسی‌زیمنس بر متر) به دست آمدند. با توجه به این که بیش‌ترین شوری آب آبیاری قابل توصیه برای رشد گلرنگ ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر گزارش شده است (Fraj et al., 2013) دامنه‌ی شوری‌های انتخاب شده در این پژوهش بین ۰/۷ تا ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر در نظر گرفته شد. حجم و هدایت الکتریکی آب آبیاری و نیز آب زهکش شده در تمام عملیات آبیاری برای هر یک از تیمارها، اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی از دستگاه EC متر استفاده شد. در این پژوهش کل حجم آب مصرفی در طول آزمایش برای تمام سطوح شوری یکسان نبود، به‌طوری که در سطوح پایین شوری گیاهان آب بیش‌تر دریافت می‌کردند، اما به‌تدریج با افزایش شوری آب آبیاری، میزان حجم آب مصرفی کاهش می‌یافت. در پایان آزمایش، از خاک هر یک از تیمارهای شوری نمونه خاک از عمق توسعه ریشه برای تعیین هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک گرفته شد. به دلیل اهمیت کسر آبسویی (LF) در آبیاری با آب شور، در ادامه این پژوهش اقدام به تعیین این پارامتر شد. بدین منظور ابتدا ضریب غلظت (X) یا نسبت بین میانگین شوری عصاره اشباع خاک (EC<sub>e</sub>) و شوری آب آبیاری (EC<sub>iw</sub>) در هر یک از تیمارهای آزمایش محاسبه شد.



رابطه ۱)

$$X = \frac{EC_e}{EC_{iw}}$$

سپس به کمک رابطه زیر مقادیر کسر آبیاری در هر یک از تیمارهای آبیاری با آب شور به صورت مجزا تعیین و تحلیل شد (Ayers and Westcott, 1985).

رابطه ۲)

$$LF = 0.3274 \times X^{-1.63}$$

همچنین با توجه به همبستگی بالای ( $R^2=0.91$ ) بین شوری عصاره اشباع خاک ( $EC_e$ ) و نسبت جذب سدیم (SAR)، مقادیر SAR

برای تیمارهای آبیاری با آب شور با استفاده از رابطه زیر برآورد گردید (فرهمند و همکاران، ۱۳۹۱):

رابطه ۳)

$$SAR = 1.44 \times EC_e^{0.925}$$

جدول ۳. میزان شوری آب آبیاری، pH و شاخص SAR در تیمارهای آب شور

SAR	pH	EC (dS m <sup>-1</sup> )	کد تیمار آب شور
۱۰/۸۳	۷/۷	۴/۱۹	S1
۱۹/۰۴	۷/۷	۸/۳۳	S2
۱۸/۰۱	۷/۳۹	۱۱/۸۹	S3

در تاریخ ۱۴۰۰/۰۹/۰۹ بذرهای گلرنگ رقم پدیده در سینی کاشت، کاشته شدند. انتخاب رقم پدیده به دلیل پرمحصول بودن و مقاومت نسبتاً خوب آن به تنش‌های محیطی بود. بعد از دو هفته که گیاه چهار برگه شد نشاها به گلدان‌ها منتقل شدند و به مدت یک ماه در گلدان‌ها و در شرایط یکسان، با آب شرب آبیاری می‌شدند. در تاریخ ۱۴۰۰/۱۰/۰۹، با استقرار گیاه در مرحله روزت (۸ برگه شدن)، اعمال تیمارها شروع شد و تا آخر فصل رشد (۱۴۰۰/۰۱/۱۸) ادامه یافت. پس از برداشت محصول در آخر فصل رشد، تمام بوته‌های برداشت شده از هر تیمار در آن در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ تا ۷۲ ساعت خشک شدند و وزن خشک شاخساره اندازه‌گیری شد. علاوه بر وزن خشک اندام‌های هوایی، ارتفاع، تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق، وزن هزاردانه و عملکرد دانه نیز اندازه‌گیری شد. جهت محاسبه عملکرد دانه در گلدان و تعمیم آن به هکتار، با در نظر گرفتن تراکم ۴۰ بوته در مترمربع یا ۴۰۰۰۰۰ بوته در هکتار (امیدی و همکاران، ۱۴۰۰) و مطابق با سطح هر گلدان که تقریباً معادل ۰/۰۷۸۴ مترمربع بود، تعداد ۳ بوته گلرنگ در هر گلدان کشت گردید. بعد از اتمام دوره رشد و رسیدگی فیزیولوژیک، میانگین وزن دانه در سه بوته محاسبه و جهت تعمیم آن به هکتار در عدد ۴۰۰۰۰۰ ضرب گردید.

#### برآورد توابع تولید در شرایط توأمان شوری و خشکی

بر استفاده از داده‌های آماری حاصله از اجرای طرح و بکارگیری روش تخمین تابع تولید آب-شوری می‌توان عملکرد محصول را تحت تأثیر مقادیر مختلف آب کاربردی و شوری آب آبیاری به طوری که سایر عوامل تولید ثابت نگه داشته شوند، به صورت معادله زیر نشان داد.

$$Y = f(I, EC_w, X) \quad \text{رابطه ۴}$$

که در این رابطه، Y مقدار عملکرد ( $kg\ ha^{-1}$ )، I مقدار آب آبیاری (cm)،  $EC_w$  هدایت الکتریکی آب آبیاری ( $dS\ m^{-1}$ ) و X بردار ثابت

سایر عوامل تأثیرگذار در تولید است.

تابع مذکور با شکل‌های مختلف: خطی ساده، خطی لگاریتمی (کاب داگلاس)، درجه دوم و نمایی که در زیر آورده شده است، برآورد

گردید.

فرم خطی:

$$Y = a_0 + a_1 I + a_2 EC_w \quad \text{رابطه ۵}$$

فرم لگاریتمی:

$$Y = a_0 I^{a_1} EC_w^{a_2} \quad \text{رابطه ۶}$$

فرم درجه دوم:

$$Y = a_0 + a_1 I + a_2 I^2 + a_3 EC_w + a_4 EC_w^2 + a_5 I \cdot EC_w \quad \text{رابطه ۷}$$

فرم نمایی:

$$Y = a_0 I^{a_1} EC_w^{a_2} e^{(a_3 I + a_4 EC_w)} \quad \text{رابطه ۸}$$

پس از اینکه داده‌های آماری عملکرد حاصل از اجرای طرح، توسط نرم افزار SPSS برازش داده شد و شکل‌های مختلف توابع تولید

تعیین گردید، جهت تعیین تابع بهینه تولید، اقدام به آنالیز حساسیت آماری شد و با تعیین آماره‌های مربوط نقش هر یک از نهاده‌ها بر توابع تولید به صورت کمی تعیین گردید. برای ارزیابی اعتبار توابع بدست آمده، از تحلیل خطاهای باقیمانده و اختلاف بین مقادیر اندازه‌گیری و پیش‌بینی استفاده گردید. آماره‌های لازم برای این منظور، میانگین مطلق خطا (MAE)، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال (NRMSE)، ضریب تبیین ( $R^2$ )، کارایی مدل‌سازی (EF) و شاخص توافق (d) هستند (Homaei et al., 2002). شکل ریاضی این آماره‌ها به صورت زیر می‌باشند:

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |O_i - P_i|}{n} \quad \text{رابطه ۹}$$

$$NRMSE = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n} \right]^{\frac{1}{2}} \times \frac{1}{\bar{O}} \quad \text{رابطه ۱۰}$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad \text{رابطه ۱۱}$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad \text{رابطه ۱۲}$$

$$d = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \quad \text{رابطه ۱۳}$$

که در این روابط  $P_i$  مقادیر پیش‌بینی شده،  $O_i$  مقادیر اندازه‌گیری (مشاهده) شده،  $n$  تعداد نمونه‌های بکار رفته و  $\bar{O}$  مقدار متوسط پارامتر مشاهده شده است. برای رسم شکل‌ها از نرم افزار سیگما پلات استفاده شد.

#### تعیین عمق‌های بهینه

در ادامه با استفاده از تابع برتر انتخاب شده (تابع درجه دوم) عمق‌های بهینه آبیاری محاسبه شد. برای این کار، در تابع تولید به‌دست آمده، شوری آب آبیاری ثابت در نظر گرفته می‌شود و معادله فوق به یک معادله درجه دوم از میزان آب آبیاری به‌صورت زیر تبدیل می‌شود (راشکی و همکاران، ۱۳۹۹):

$$Y_w = a_1 + (b_1 \times I) + (c_1 \times I^2) \quad \text{رابطه ۱۴}$$

در این رابطه،  $Y_w$  عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار،  $I$  عمق آب آبیاری بر حسب سانتی‌متر و  $a_1$ ،  $b_1$ ،  $c_1$  ضرایب تابع درجه دوم به‌دست آمده می‌باشند.

سپس با فرض خطی بودن تابع هزینه خواهیم داشت:

$$C(w) = a_2 + b_2 \times I \quad \text{رابطه ۱۵}$$

در رابطه فوق،  $a_2$  و  $b_2$  به‌ترتیب کل هزینه‌های کاشت، داشت و برداشت برای یک هکتار سطح زیرکشت گلرنگ و قیمت هر مترمکعب آب مصرفی می‌باشند. با مشخص شدن ضرایب تابع تولید آب-عملکرد، تابع هزینه و همچنین قیمت محصول به‌زای هر کیلوگرم، عمق‌های شاخص آبیاری از روابط زیر محاسبه می‌شوند (انصاری، ۱۳۸۶):

عمق آب مصرفی در شرایط محدودیت زمین:

$$W_1 = \frac{b_2 - P_c \times b_1}{2P_c \times c_1} \quad \text{رابطه ۱۶}$$

عمق آب مصرفی گیاه در شرایط محدودیت آب:

$$W_w = \left[ \frac{(P_c \times a_1) - a_2}{P_c \times c_1} \right]^{0.5} \quad \text{رابطه ۱۷}$$

عمق معادل آبیاری بیشینه:

برای به‌دست آوردن این عمق در ابتدا باید مقدار  $Z_1$  از رابطه زیر تعیین شود:

$$Z_1 = \left[ (P_c \cdot b_1 - b_2)^2 - 4P_c c_1 \left( \frac{P_c b_1^2}{4c_1} - \frac{b_1 \cdot b_2}{2c_1} \right) \right]^{0.5} \quad \text{رابطه ۱۸}$$

با توجه به مقدار  $Z_1$ ، عمق آب مصرفی که سود ناشی از آن برابر کاربرد ماکزیمم عمق آب مصرفی گیاه است، نیز با توجه به معادله

زیر محاسبه شد:



$$W_{c1} = \frac{b_2 - P_c \cdot b_1 + Z_1}{2P_c \cdot c_1} \quad \text{رابطه (۱۹)}$$

لازم به یادآوری است که ماکزیمم عمق آب مصرفی ( $W_m$ ) عبارت است از:

$$W_m = \frac{-b_1}{2c_1} \quad \text{رابطه (۲۰)}$$

## نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده گلرنگ در آزمایش توأمان تنش شوری و خشکی نشان داد که اثر توأمان تنش شوری و خشکی بر تمام صفات اندازه‌گیری شده به جز ارتفاع بوته و عملکرد بیولوژیک در سطح احتمال یک درصد ( $P < 0.01$ ) معنی‌دار بود. از طرفی اثر تنش شوری به تنهایی بر عملکرد دانه، ارتفاع بوته، تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق و وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. دلیل محتمل آن این است که شوری خاک و در نتیجه افزایش تنش اسمزی اثر مهمی بر هدایت روزنه‌ای برگ و میزان فتوسنتز آن دارد. از طرفی مسمومیت ناشی از تجمع یون سدیم در خاک‌های شور میزان فتوسنتز را در مقایسه با خاک‌های غیرشور بیش‌تر کاهش می‌دهد (Zhang et al., 2023). همچنین تنش شوری با سه مؤلفه کمبود آب، سمیت یونی و عدم تعادل عناصر غذایی رشد گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Hagemeyer, 1997). این نتیجه با نتایج به دست آمده در پژوهش (Farahbakhsh و Feizi et al (2010) و Farahbakhsh et al (2023) مطابقت داشت.

در جدول (۴)، هدایت الکتریکی آب آبیاری، متوسط هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک، نسبت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک به هدایت الکتریکی آب آبیاری، کسر آبشویی و نسبت جذب سدیم (SAR) درج گردیده است.

جدول ۴. هدایت الکتریکی آب و عصاره اشباع خاک، کسر آبشویی و نسبت جذب سدیم برای تیمارهای مختلف آبیاری

ردیف	تیمار آبیاری	هدایت الکتریکی آب آبیاری ( $dS m^{-1}$ )	متوسط هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک ( $dS m^{-1}$ )			نسبت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک به هدایت الکتریکی آب آبیاری (ضریب غلظت)			تعیین کسر آبشویی (LF) به کمک ضریب غلظت	نسبت جذب سدیم (SAR)
			تکرار ۱	تکرار ۲	تکرار ۳	تکرار ۱	تکرار ۲	تکرار ۳		
۱	۱۰۰ درصد	۴	۵/۸	۶	۶/۲	۱/۴۵	۱/۵	۱/۵۵	۰/۱۷	۰/۱۷
۲	نیاز آبی	۸	۸/۸۳	۸/۷	۸/۹۷	۱/۱۰	۱/۰۸	۱/۱۲	۰/۲۸	۰/۲۷
۳		۱۲	۱۰/۲۵	۱۰/۱۱	۱۰/۳۲	۰/۸۵	۰/۸۴	۰/۸۶	۰/۴۲	۰/۴۱
۴	۷۵ درصد	۴	۱۰/۹۲	۱۰/۷۹	۱۰/۹۹	۲/۷۳	۲/۶۹	۲/۷۴	۰/۰۶	۰/۰۶
۵	نیاز آبی	۸	۱۲/۲۱	۱۲/۳۴	۱۲/۲۷	۱/۵۲	۱/۵۴	۱/۵۳	۰/۱۶	۰/۱۶
۶		۱۲	۱۲/۲۷	۱۲/۲۱	۱۲/۳۴	۱/۰۲	۱/۰۱	۱/۰۲	۰/۳۱	۰/۳۱
۷	۵۰ درصد	۴	۱۳/۲۲	۱۳/۳۵	۱۳/۴۲	۳/۳۰	۳/۳۳	۳/۳۵	۰/۰۴	۰/۰۴
۸	نیاز آبی	۸	۱۳/۸۹	۱۴/۰۳	۱۴/۲۳	۱/۷۳	۱/۷۵	۱/۷۷	۰/۱۳	۰/۱۳
۹		۱۲	۱۴/۵۷	۱۴/۶۳	۱۴/۷۷	۱/۲۱	۱/۲۱	۱/۲۲	۰/۲۴	۰/۲۳

با توجه به نتایج ارائه شده در جدول (۴) مشخص می‌شود که با افزایش شوری آب در تمام تیمارهای آبیاری، شوری عصاره اشباع خاک منطقه ریشه افزایش یافت که امری بدیهی است، از طرفی در یک سطح شوری مشخص، نسبت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک به هدایت الکتریکی آب آبیاری (ضریب غلظت) در تنش خشکی ملایم و شدید در مقایسه با شرایط بدون تنش (تیمار شاهد) افزایش یافت. همچنین تعیین کسر آبشویی (LF) با استفاده از رابطه Ayers and Westcott (1985) نشان داد که در تمام تیمارهای آبیاری، با افزایش شوری آب آبیاری کسر آبشویی افزایش یافت. این بدان معنی است که با افزایش شوری آب آبیاری تجمع نمک در محدوده ریشه گیاه افزایش می‌یابد که برای کاهش غلظت نمک در محدوده ریشه گیاه و رسیدن به عملکرد مطلوب می‌توان درصد بیش‌تری از عمق خالص آبیاری را به آبشویی اختصاص داد. نتایج به دست آمده در پژوهش بناکار و همکاران (۱۳۹۲) با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی داشت. در شرایط آبیاری کامل و بدون تنش خشکی، کسر آبشویی برای شوری‌های ۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب ۰/۱۷، ۰/۲۸ و ۰/۴۲ به دست آمد. کمالی و همکاران (۱۳۹۰) در پژوهش خود کسر آبشویی در شرایط آبیاری با شوری‌های ۲، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر را به ترتیب ۰/۰۷، ۰/۲۱ و ۰/۲۸ گزارش نمودند. همچنین نتایج ارائه شده در جدول (۴) نشان داد که در تمام تیمارهای آبیاری، با افزایش شوری آب آبیاری، نسبت جذب سدیم (SAR) افزایش یافت. اما درصد افزایش آن در تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی در مقایسه با دو تیمار دیگر آبیاری بیش‌تر بود که دلیل محتمل آن می‌تواند به خاطر ورود بیش‌تر نمک به داخل خاک به همراه آب آبیاری در تیمار ۱۰۰



درصد نیاز آبی در مقایسه با تیمار ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی باشد.

در جداول (۵) تا (۸) به ترتیب ضرایب توابع خطی ساده، کاب داگلاس، درجه دوم و متعالی برای عملکرد و اجزای عملکرد گیاه گلرنگ ارائه شده است. در این جداول آماره t بیانگر تأثیر معنی‌دار و تعیین کننده دو عامل عمق و شوری آب آبیاری بر اساس تغییرات عملکرد و اجزای عملکرد محصول بوده و آماره F بیانگر معنی‌داری کلی توابع است.

جدول ۵. ضرایب تابع خطی ساده برای عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ

پارامترها	ضرایب		
	a <sub>0</sub>	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>
وزن کل بیوماس (kg ha <sup>-1</sup> )	۳۶۱۲/۹۶۳ <sup>ns</sup> (۱/۰۸۶)	۲۲۹/۲۱۵ <sup>ns</sup> (۱/۶۶۶)	-۵۵/۶۸۳ <sup>ns</sup> (-۰/۳۱۸)
عملکرد دانه (kg ha <sup>-1</sup> )	-۳۱۶/۷۸۲ <sup>ns</sup> (-۰/۷۹۳)	۸۷/۴۰۲ <sup>**</sup> (۵/۲۹۵)	۲۸/۳۷۵ <sup>ns</sup> (۱/۳۴۹)
وزن هزاردانه (g)	۱۴/۳۱۳ <sup>**</sup> (۲/۸۲۳)	۱/۰۸۳ <sup>**</sup> (۵/۱۸۴)	۰/۳۵۵ <sup>ns</sup> (۱/۳۳۲)
تعداد دانه در طبق	۴/۷۰۸ <sup>ns</sup> (۱/۳۵۹)	۱/۱۵۵ <sup>**</sup> (۷/۴۶۶)	۰/۷۹۹ <sup>**</sup> (۴/۰۵۳)
تعداد طبق در بوته	-۹/۰۱۳ <sup>**</sup> (-۳/۰۰۸)	۰/۸۴۰ <sup>**</sup> (۶/۷۸۳)	۰/۵۲۷ <sup>**</sup> (۳/۳۴۱)
ارتفاع بوته (cm)	۶۳/۳۹۸ <sup>**</sup> (۳/۹۴۱)	۱/۲۶۶ <sup>ns</sup> (۱/۹۰۴)	-۲/۶۰۴ <sup>**</sup> (-۳/۰۷۳)

\*، \*\*، ns به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد، یک درصد و غیر معنی‌داری است و مقادیر داخل پرانتز آماره t می‌باشند.

جدول ۶. ضرایب تابع کاب داگلاس برای عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ

پارامترها	ضرایب		
	a <sub>0</sub>	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>
وزن کل بیوماس (kg ha <sup>-1</sup> )	۶۳۰/۱۷۶ <sup>**</sup> (۶/۴۷۳)	-۰/۸۲۷ <sup>*</sup> (۲/۶۱۶)	۰/۰۶۶ <sup>ns</sup> (۰/۷۱۲)
عملکرد دانه (kg ha <sup>-1</sup> )	۱۱۵/۹۳۱ <sup>**</sup> (۷/۳۴۱)	-۰/۸۵۳ <sup>**</sup> (۴/۱۵۱)	۰/۰۲۱ <sup>ns</sup> (۰/۳۵۴)
وزن هزاردانه (g)	۱۲/۴۹۰ <sup>**</sup> (۷/۵۶۸)	-۰/۳۶۶ <sup>**</sup> (۳/۴۵۹)	-۰/۰۰۳ <sup>ns</sup> (-۰/۱۰۲)
تعداد دانه در طبق	۱۱/۲۱۲ <sup>**</sup> (۶/۶۸۱)	-۰/۳۳۶ <sup>**</sup> (۲/۹۲۶)	۰/۰۰۷ <sup>ns</sup> (۰/۲۱۹)
تعداد طبق در بوته	۰/۴۶۶ <sup>ns</sup> (-۰/۸۲۶)	۰/۹۸۹ <sup>**</sup> (۳/۳۷۷)	۰/۰۵۵ <sup>ns</sup> (۰/۶۳۴)
ارتفاع بوته (cm)	۶۳/۳۰۲ <sup>**</sup> (۲/۷۵۹)	-۰/۸۴۴ <sup>**</sup> (۳/۹۸۵)	۰/۰۰۹ <sup>ns</sup> (۰/۱۴۲)

\*، \*\*، ns به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد، یک درصد و غیر معنی‌داری است و مقادیر داخل پرانتز آماره t می‌باشند.

جدول ۷. ضرایب تابع درجه دوم برای عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ

پارامترها	ضرایب				
	a <sub>0</sub>	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	a <sub>4</sub>
وزن کل بیوماس (kg ha <sup>-1</sup> )	-۴۰۲۵۲/۸۰۰ <sup>ns</sup> (-۱/۱۹۸)	۳۸۶۲/۶۶۴ <sup>ns</sup> (۱/۳۹۵)	-۷۵/۱۷۸ <sup>ns</sup> (-۱/۳۰۲)	۳۹۱۸/۹۷۷ <sup>ns</sup> (۱/۲۱۲)	-۹۸/۰۹۰ <sup>ns</sup> (-۱/۱۱۲)
عملکرد دانه (kg ha <sup>-1</sup> )	۲۸۱۸/۲۷۹ <sup>ns</sup> (۰/۸۶۱)	-۳۱۲/۹۷۳ <sup>ns</sup> (-۱/۱۶۳)	۱۰/۷۷۷ <sup>ns</sup> (۱/۹۱۵)	۱۶/۶۷۲ <sup>ns</sup> (۰/۰۵۲)	-۹/۱۶۸ <sup>ns</sup> (-۱/۰۶۷)
وزن هزاردانه (g)	۵۲/۸۹۹ <sup>ns</sup> (۱/۳۲۰)	-۳/۹۸۷ <sup>ns</sup> (-۱/۲۰۷)	۰/۱۳۸ <sup>*</sup> (۲)	۰/۵۷۴ <sup>ns</sup> (۰/۱۴۸)	-۰/۱۲۸ <sup>ns</sup> (-۱/۲۱۹)
تعداد دانه در طبق	-۰/۹۴۴ <sup>ns</sup> (-۰/۰۲۹)	۰/۳۵۹ <sup>ns</sup> (۰/۱۳۶)	۰/۰۳۹ <sup>ns</sup> (۰/۰۰۹)	۳/۹۳۴ <sup>ns</sup> (۱/۲۸۲)	-۰/۱۵۸ <sup>ns</sup> (-۱/۸۸۰)
تعداد طبق در بوته	-۱۷/۲۵۴ <sup>ns</sup> (-۰/۷۱۰)	۰/۳۸۳ <sup>ns</sup> (۰/۱۹۱)	۰/۰۲۹ <sup>ns</sup> (۰/۰۶۹۰)	۳/۴۷۲ <sup>ns</sup> (۱/۴۸۵)	-۰/۱۴۹ <sup>*</sup> (-۲/۳۲۸)
ارتفاع بوته (cm)	۳۵/۳۶۶ <sup>ns</sup> (۰/۲۲۴)	۰/۷۸۰ <sup>ns</sup> (۰/۰۶۰)	۰/۰۵۶ <sup>ns</sup> (۰/۲۰۶)	۴/۰۵۰ <sup>ns</sup> (۰/۲۶۷)	-۰/۳۷۵ <sup>ns</sup> (-۰/۹۰۷)

\*، \*\*، ns به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد، یک درصد و غیر معنی‌داری است و مقادیر داخل پرانتز آماره t می‌باشند.

جدول ۸. ضرایب تابع متعالی برای عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ

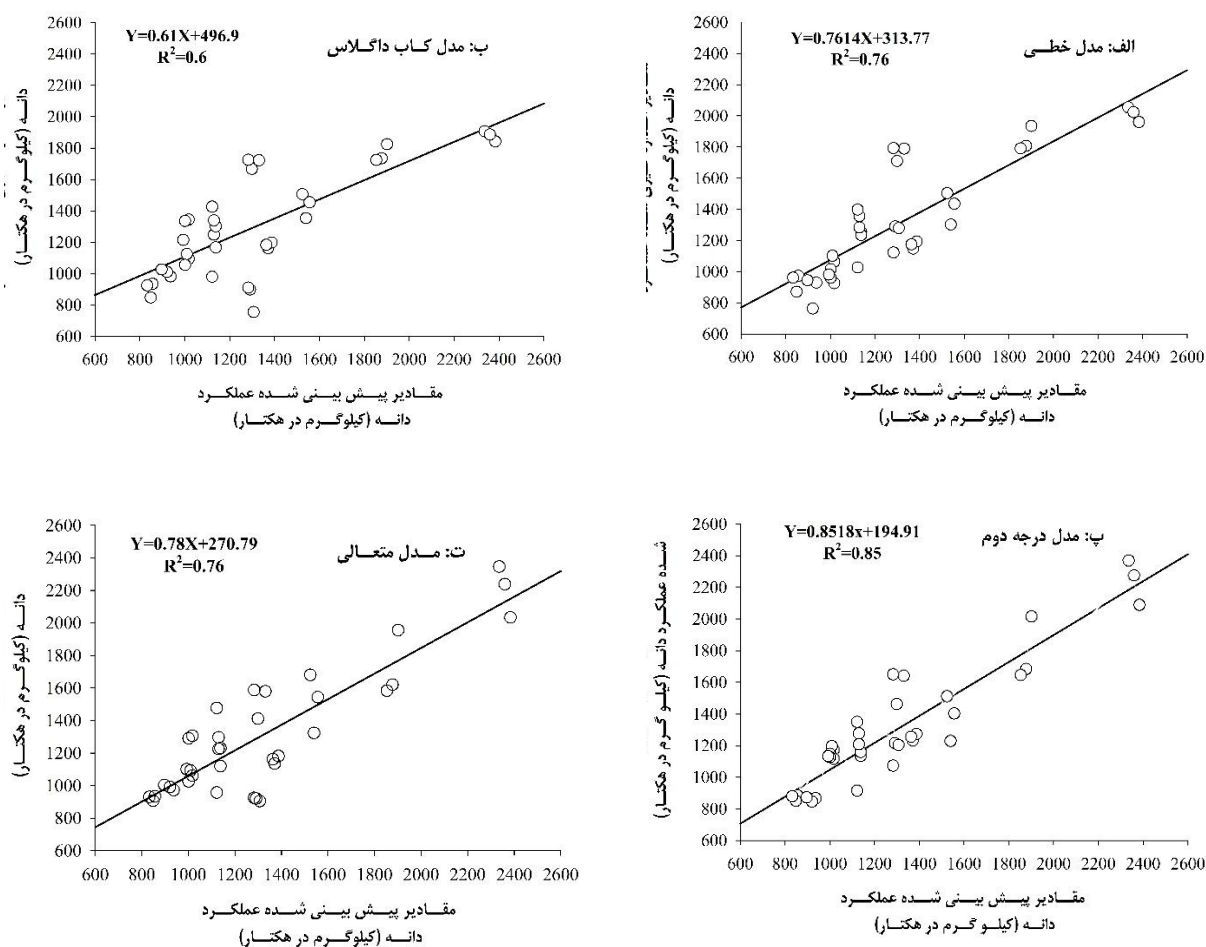
پارامترها	ضرایب			
	a <sub>0</sub>	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>
وزن کل بیوماس (kg ha <sup>-1</sup> )	۴۵۵۰/۵۳۴ <sup>**</sup> (۳/۶۷۰)	-۰/۵۵۶ <sup>ns</sup> (-۰/۳۹۱)	-۰/۲۷۴ <sup>ns</sup> (۱/۱۶۶)	۰/۱۰۳ <sup>ns</sup> (۱/۰۱۳)
عملکرد دانه (kg ha <sup>-1</sup> )	۴۷۵۵/۲۲۸ <sup>**</sup> (۶/۶۹۷)	-۱/۸۱۱ <sup>*</sup> (-۲/۳۱۳)	۰/۴۳۳ <sup>**</sup> (۳/۱۸۸)	-۰/۲۰۲ <sup>**</sup> (۳/۶۱۱)
وزن هزاردانه (g)	۹۱/۸۳۵ <sup>**</sup> (۷/۲۶۳)	-۱/۰۸۸ <sup>**</sup> (-۲/۸۲۳)	۰/۲۰۸ <sup>**</sup> (۳/۲۵۴)	۰/۱۱۱ <sup>**</sup> (۴/۰۵۰)
تعداد دانه در طبق	۴۹/۲۰۵ <sup>**</sup> (۶/۷۴۷)	-۰/۹۲۵ <sup>*</sup> (-۲/۵۸۶)	۰/۱۶۷ <sup>**</sup> (۲/۸۱۷)	۰/۱۰۶ <sup>**</sup> (۴/۱۶۹)
تعداد طبق در بوته	۷/۶۲۱ <sup>ns</sup> (۱/۲۷۱)	-۱/۵۵۲ <sup>ns</sup> (-۱/۵۶۹)	-۰/۳۵۹ <sup>*</sup> (۲/۱۸۹)	-۰/۲۲۲ <sup>**</sup> (۳/۱۴۴)
ارتفاع بوته (cm)	۳۷/۳۰۰ <sup>**</sup> (۲/۷۹۱)	۰/۰۷۰ <sup>ns</sup> (۰/۰۸۷)	-۰/۱۸۸ <sup>ns</sup> (۱/۴۱۲)	۰/۰۳۱ <sup>ns</sup> (۰/۵۴۵)

\*، \*\*، ns به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد، یک درصد و غیر معنی‌داری است و مقادیر داخل پرانتز آماره t می‌باشند.

به منظور ارزیابی توابع تولید استفاده شده در این پژوهش، سنج‌های ارزیابی مانند ریشه میانگین مربعات خطای نرمال، میانگین مطلق خطا، ضریب کارایی مدل، شاخص توافق و ضریب تبیین برای هر کدام از توابع محاسبه و در جدول (۹) ارائه شده است. همچنین رتبه نهایی هر تابع از جهت پیش‌بینی دقیق‌تر عملکرد و اجزای عملکرد با اعداد ۱ تا ۴ در این جدول نشان داده شده است. با توجه به نتایج ارائه شده در این جدول مشخص می‌شود که تابع خطی برای پیش‌بینی ارتفاع بوته گلرنگ در رتبه بهتری نسبت به توابع درجه دوم، متعالی و کاب داگلاس قرار گرفت. اما برای پیش‌بینی عملکرد دانه، تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه و عملکرد بیولوژیک رتبه نهایی تابع درجه دوم نسبت به سایر توابع تولید بهتر بود. بعد از تابع درجه دوم تابع متعالی عملکرد بهتری نسبت به توابع کاب داگلاس و خطی در پیش‌بینی صفات فوق داشت. بنابراین در ارزیابی کلی توابع تولید آب-شوری-عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ می‌توان توابع درجه دوم و متعالی را مدل‌های مناسب‌تری در مقایسه با مدل‌های خطی و کاب داگلاس در نظر گرفت. به نظر می‌رسد یکی از دلایل برتری تابع درجه دوم نسبت به سایر توابع، وجود ضرایب بیش‌تر در این مدل باشد به طوری که تابع درجه دوم دارای شش ضریب، تابع متعالی دارای پنج ضریب و توابع کاب داگلاس و خطی ساده دارای سه ضریب می‌باشند (دهقان و همکاران، ۱۳۹۹). نتایج تحقیقات شیرمحمدی علی اکبر خانی و همکاران (۱۳۹۲) نیز نشان داد که در شرایط توأم شوری و تنش خشکی تابع درجه دوم عملکرد ذرت علوفه‌ای را بهتر از توابع دیگر پیش‌بینی می‌کند که با نتایج به دست آمده در این پژوهش مطابقت داشت. محمدی و همکاران (۱۳۸۹) نیز تابع درجه دوم را در شرایط توأم تنش شوری و خشکی به عنوان بهترین تابع تولید گوجه فرنگی معرفی نمودند.

جدول ۹. پارامترهای آماری محاسبه شده برای ارزیابی توابع تولید عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ

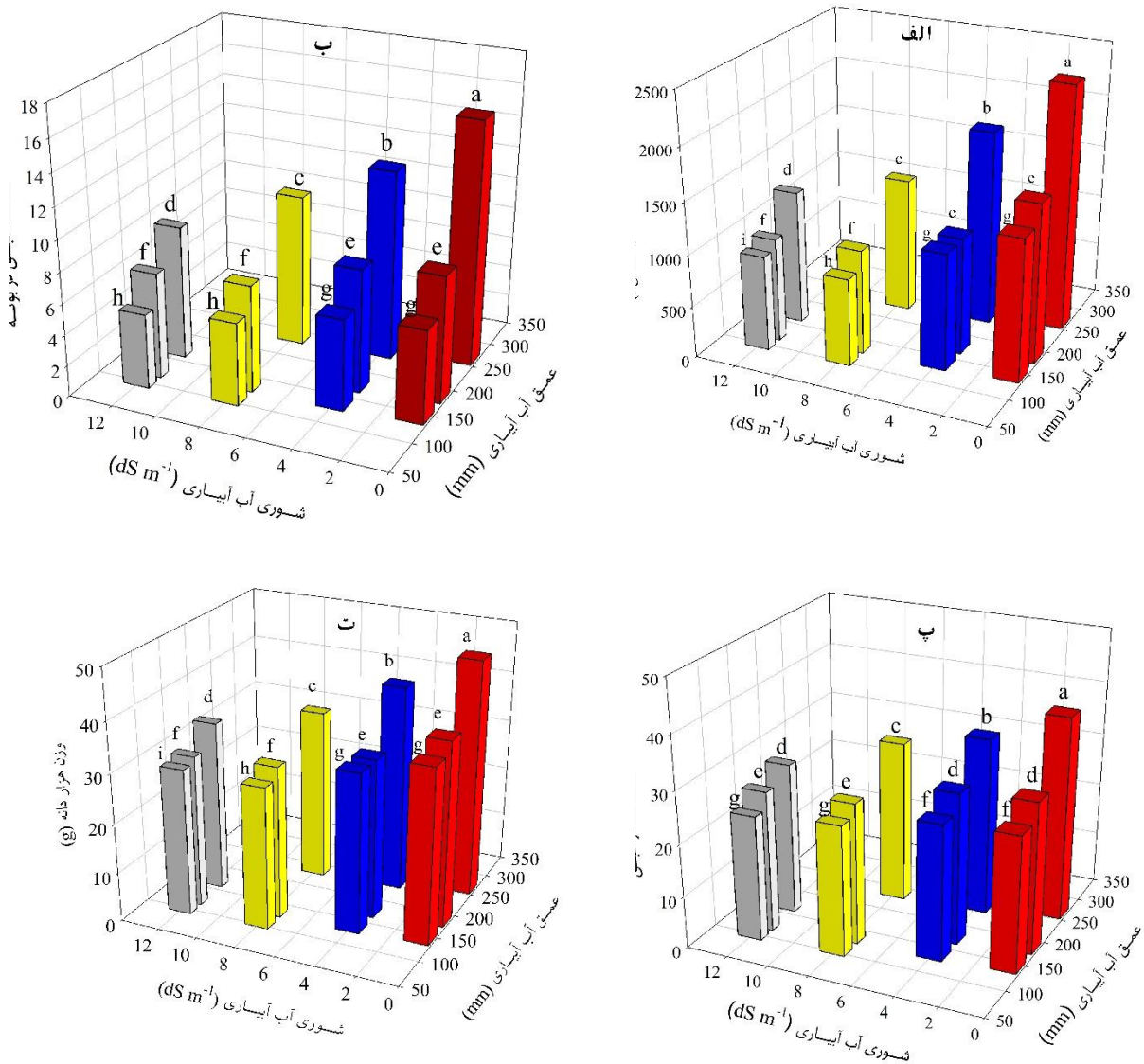
پارامتر	نوع تابع	NRMSE	MAE	EF	d	R <sup>2</sup>	رتبه نهایی
عملکرد دانه	خطی ساده	(۳) ۰/۱۷	(۳) ۱۶/۳۱	(۱) ۰/۷۶	(۳) ۰/۹۲	(۲) ۰/۷۶	۳
	کاب داگلاس	(۴) ۰/۲۰	(۴) ۱۸/۸۲	(۴) ۰/۴۸	(۴) ۰/۸۶	(۳) ۰/۶۰	۴
	درجه دوم	(۱) ۰/۰۱	(۱) ۱۲/۸۱	(۲) ۰/۷۳	(۱) ۰/۹۴	(۱) ۰/۸۵	۱
	متعالی	(۲) ۰/۱۶	(۲) ۱۴/۲۱	(۳) ۰/۵۳	(۲) ۰/۹۳	(۲) ۰/۷۶	۲
ارتفاع بوته	خطی ساده	(۴) ۰/۱۸	(۱) ۶/۰۱	(۱) ۰/۸۲	(۱) ۰/۹۵	(۲) ۰/۸۲	۱
	کاب داگلاس	(۳) ۰/۱۴	(۴) ۱۱	(۴) ۰/۴۸	(۲) ۰/۹۴	(۳) ۰/۷۷	۳
	درجه دوم	(۱) ۰/۱۱	(۳) ۸/۳۹	(۲) ۰/۷۳	(۱) ۰/۹۵	(۱) ۰/۸۴	۱
	متعالی	(۲) ۰/۱۲	(۲) ۸/۲۵	(۳) ۰/۵۳	(۱) ۰/۹۵	(۲) ۰/۸۲	۲
تعداد طبق در بوته	خطی ساده	(۳) ۰/۱۸	(۳) ۱۳/۸۳	(۳) ۰/۵	(۲) ۰/۹۳	(۳) ۰/۷۷	۳
	کاب داگلاس	(۴) ۰/۲۱	(۴) ۱۶/۷۵	(۴) ۰/۴۸	(۳) ۰/۸۷	(۴) ۰/۶۸	۴
	درجه دوم	(۱) ۰/۱۴	(۱) ۱۰/۹۲	(۱) ۰/۷۳	(۱) ۰/۹۶	(۱) ۰/۸۵	۱
	متعالی	(۲) ۰/۱۵	(۲) ۱۱/۷۹	(۲) ۰/۵۳	(۱) ۰/۹۶	(۲) ۰/۸۴	۲
تعداد دانه در طبق	خطی ساده	(۳) ۰/۰۷	(۳) ۵/۵۶	(۳) ۰/۵۰	(۳) ۰/۹۲	(۳) ۰/۷۴	۳
	کاب داگلاس	(۴) ۰/۰۹	(۴) ۶/۹۹	(۴) ۰/۴۸	(۴) ۰/۸۵	(۴) ۰/۵۹	۴
	درجه دوم	(۱) ۰/۰۵	(۱) ۴/۳۵	(۱) ۰/۷۳	(۱) ۰/۹۶	(۱) ۰/۸۴	۱
	متعالی	(۲) ۰/۰۶	(۲) ۴/۹۴	(۲) ۰/۵۳	(۲) ۰/۹۴	(۲) ۰/۸۱	۲
وزن هزاردانه	خطی ساده	(۲) ۰/۰۷	(۳) ۵/۵۱	(۳) ۰/۵۰	(۳) ۰/۹۳	(۲) ۰/۷۶	۳
	کاب داگلاس	(۳) ۰/۰۸	(۴) ۵/۸۶	(۴) ۰/۴۸	(۴) ۰/۹۱	(۳) ۰/۷۲	۴
	درجه دوم	(۱) ۰/۰۶	(۲) ۴/۸۴	(۱) ۰/۷۳	(۱) ۰/۹۶	(۱) ۰/۸۵	۱
	متعالی	(۱) ۰/۰۶	(۱) ۴/۵۴	(۲) ۰/۵۳	(۲) ۰/۹۵	(۱) ۰/۸۵	۲
وزن کل بیوماس	خطی ساده	(۲) ۰/۲۴	(۲) ۱۷/۶۳	(۳) ۰/۵۰	(۲) ۰/۷۶	(۲) ۰/۴۲	۲
	کاب داگلاس	(۲) ۰/۲۴	(۱) ۱۷/۱	(۴) ۰/۴۸	(۳) ۰/۷۴	(۲) ۰/۴۲	۲
	درجه دوم	(۱) ۰/۲۳	(۱) ۱۷/۱	(۱) ۰/۷۳	(۱) ۰/۷۸	(۱) ۰/۴۵	۱
	متعالی	(۲) ۰/۲۴	(۳) ۱۷/۶۵	(۲) ۰/۵۳	(۳) ۰/۷۴	(۳) ۰/۴۰	۳



شکل ۲. مقادیر اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده عملکرد دانه برای مدل‌های الف: خطی، ب: کاب داگلاس، پ: درجه دوم و ت: متعالی

در شکل‌های (۳-الف) تا (۳-ت) به ترتیب اثر توأمان تنش شوری و خشکی بر عملکرد دانه، تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق و وزن هزار دانه ارائه شده است. با توجه به نتایج به دست آمده در جدول تجزیه واریانس، اثر متقابل شوری و خشکی بر عملکرد دانه، تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق و وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. همان‌طور که در شکل‌های (۳-الف) تا (۳-ت) نشان داده شده است افزایش شوری و کاهش عمق آب آبیاری، باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه، تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق و وزن هزار دانه در تمام تیمارها گردید. بیش‌ترین عملکرد دانه متعلق به تیمار شاهد و به اندازه ۲۳۶۰ کیلوگرم در هکتار و کم‌ترین مقدار آن متعلق به تیمار تنش شوری و خشکی شدید و به اندازه ۸۴۵ کیلوگرم در هکتار بود. نتایج تحقیقات (Feizi et al (2010) نیز نشان داد که افزایش شوری آب آبیاری باعث کاهش معنی‌دار ارتفاع گیاه، وزن هزار دانه و عملکرد بیولوژیک گیاه گلرنگ گردید که با نتایج به دست آمده در این پژوهش هم‌خوانی داشت. تنش شوری در ابتدا رشد سلول‌های گیاهی را از طریق اثر بر فشار تورژسانس سلول، تحت تأثیر قرار می‌دهد. کاهش فشار تورژسانس مهم‌ترین عامل بازدارندگی رشد گیاهان تحت شرایط شور شناخته شده است (Volkmar et al., 1997). نتایج (Tayebi et al (2012) نشان داد که اثر تنش خشکی بر وزن خشک گیاه، ارتفاع گیاه، تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق و همچنین عملکرد دانه گلرنگ معنی‌دار بود که با نتایج به دست آمده در این پژوهش مطابقت داشت.

در شکل‌های (۲-الف) تا (۲-ت) مقادیر اندازه‌گیری شده عملکرد دانه در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده آن به ترتیب با استفاده از توابع خطی، کاب داگلاس، درجه دوم و متعالی نشان داده شده است. با توجه به شکل‌ها مشخص می‌شود که تابع درجه دوم با بیش‌ترین ضریب تبیین، بهترین دقت را در پیش‌بینی عملکرد دانه داشته است.



شکل ۳. اثر توأمان تنش شوری و خشکی بر الف) عملکرد دانه، ب) تعداد طبق در بوته، پ) تعداد دانه در طبق، و ت) وزن هزار دانه ستون‌های دارای حروف مشترک تفاوت معنی‌دار ندارند.

در تمام سطوح آبیاری، شیب کاهش عملکرد دانه با تغییر سطح شوری از ۰/۷ به ۴ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با تغییر آن از ۴ به ۸ و از ۸ به ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر بیش‌تر بود. همچنین تیمار شاهد در مقایسه با سایر تیمارها دارای بیش‌ترین تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق و وزن هزار دانه نیز بود. نتایج تحقیقات خوشنام و ممنوعی (۱۴۰۰) نیز نشان داد که تنش کم‌آبی باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه، تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق و وزن هزار دانه گل‌رنگ گردید که با نتایج به دست آمده در این پژوهش هم‌خوانی داشت. همچنین با توجه به شکل‌های (۳-الف) تا (۳-ت) مشخص می‌شود که در تمام سطوح شوری، شیب کاهش عملکرد دانه، تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق و وزن هزار دانه با تغییر سطح آبیاری از تیمار شاهد (تیمار بدون تنش آبی) به تنش آبی ملایم بسیار بیش‌تر از شیب کاهش این صفات در تغییر سطح آبیاری از تنش آبی ملایم به شدید بود. در مقادیر یکسان آب قابل دسترس، با افزایش شوری آب عملکرد محصول کاهش می‌یابد و همچنین در مقادیر یکسان شوری آب آبیاری، با افزایش آب قابل دسترس عملکرد محصول نیز افزایش می‌یابد. در یک سطح آبیاری مشخص (مثلاً در تیمار شاهد که در آن ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه تأمین شده است)، افزایش شوری از ۰/۷ به ۴، از ۴ به ۸ و از ۸ به ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر باعث می‌شود که عمق آب آبیاری به‌ترتیب از ۲۶۴ به ۲۴۴، ۲۳۵ و ۱۶۴ میلی‌متر در طول فصل رشد کاهش یابد. شوری ظرفیت جذب آب توسط گیاه را از طریق پایین بردن پتانسیل آب خاک کاهش داده و بنابراین باعث کاهش جذب آب توسط ریشه‌های گیاه می‌گردد (بناکار و همکاران، ۱۳۹۹). از طرفی تنش شوری باعث تغییر پتانسیل آب در ساقه گیاه

می‌گردد که در نتیجه آن هدایت روزنه‌ای و تعرق گیاه کاهش می‌یابد (Zhang et al., 2023). نتایج تحقیقات Bassil & Kaffka (2002) نیز نشان داد که افزایش شوری آب آبیاری باعث کاهش تبخیر و تعرق گیاه گلرنگ در طول فصل رشد گردید که با نتایج این پژوهش مطابقت داشت.

### عمق بهینه آبیاری

با توجه به روابط ارائه شده در بخش مواد و روش‌ها ابتدا تابع تولید آب-شوری-عملکرد درجه دوم به‌دست آمده با ثابت در نظر گرفتن شوری آب آبیاری تبدیل به تابع تولید آب-عملکرد گردید. برای این منظور در تابع تولید درجه دوم، به جای  $EC_w$  به ترتیب مقادیر ۰/۷، ۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر قرار داده شد و توابع تولید به‌دست آمده بر حسب مقدار آب آبیاری برای شوری‌های مختلف آب آبیاری به‌صورت جدول زیر ارائه گردید.

جدول ۱۰. توابع تولید آب-عملکرد برای شوری‌های مختلف آب آبیاری

تابع تولید آب-عملکرد	$EC_w$ ( $dSm^{-1}$ )
$Y_{grain} = 2818.279 - 313.973 \times I + 10.777 \times I^2 + 16.672 \times EC_w - 9.168 \times EC_w^2 + 10.169 \times I \times EC_w$	
تابع تولید آب-عملکرد	
$Y_{grain} = 2825.46 - 306.85 \times I + 10.78 \times I^2$	۰/۷
$Y_{grain} = 2738.28 - 273.3 \times I + 10.78 \times I^2$	۴
$Y_{grain} = 2364.9 - 232.62 \times I + 10.78 \times I^2$	۸
$Y_{grain} = 1698.15 - 191.95 \times I + 10.78 \times I^2$	۱۲

هم‌چنین بر اساس آمار اخذ شده از ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی شهرستان کاشمر (بی‌نام، ۱۴۰۱) برای سال زراعی ۱۴۰۱ در خصوص هزینه تمام شده کاشت، داشت و برداشت برای یک هکتار سطح زیر کشت گلرنگ معادل ۱۳۵۰۰۰۰۰ ریال؛ قیمت هر مترمکعب آب مصرفی معادل ۱۸۰۰۰۰ ریال و قیمت هر کیلوگرم دانه روغنی گلرنگ معادل ۳۳۰۰۰۰ ریال، تابع هزینه به‌صورت زیر و ضرایب  $a_1, b_1, c_1, a_2, b_2$  و عمق‌های بهینه آبیاری به‌صورت ارائه شده در جدول (۱۱) به‌دست آمدند.

$$C_w = 135000000 + 180000I \quad (\text{رابطه ۱۸})$$

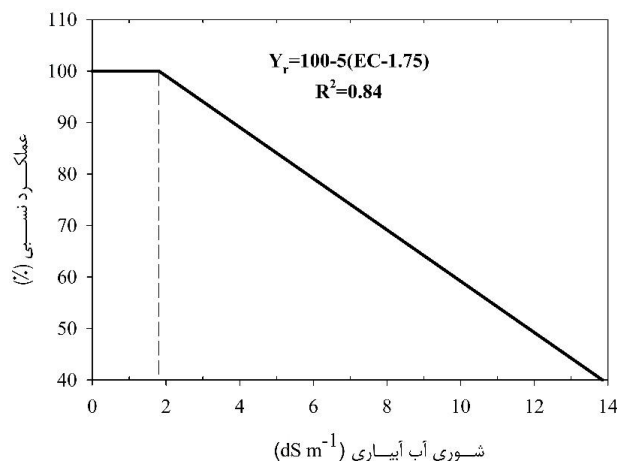
همان‌طور که از جدول (۱۱) مشخص است، عمق‌های بهینه آبیاری در تیمار شاهد (آبیاری با آب غیرشور) در شرایط محدودیت زمین، محدودیت آب، عمق آبیاری ماکزیمم و عمق معادل آبیاری ماکزیمم به ترتیب ۱۴۲/۶، ۱۴۹/۷، ۲۸۵/۲ و ۱۴۲/۴ میلی‌متر بودند که با افزایش شوری آب آبیاری عمق‌های بهینه آبیاری کاهش یافت. با افزایش شوری آب آبیاری اختلاف عمق آبیاری بهینه بین شرایط محدودیت آب و محدودیت زمین افزایش یافت که این می‌تواند به دلیل کاهش محصول در اثر افزایش شوری آب آبیاری یا خاک باشد. زیرا افزایش شوری آب آبیاری یا خاک در شرایط کم‌آبیاری منجر به افزایش شدت عوامل تنش‌زا تحمیل شده به گیاه می‌گردد و در نتیجه محصول کاهش می‌یابد (Rashki et al., 2022). هم‌چنین مشاهده گردید که در تیمارهای شوری ۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر عمق آب مصرفی گیاه در شرایط محدودیت آب ( $W_w$ ) در مقایسه با ماکزیمم عمق آب مصرفی ( $W_m$ ) به ترتیب به اندازه ۲۰/۲، ۲۶/۸ و ۲۰/۳ میلی‌متر بیش‌تر بود. این نشان می‌دهد که اعمال کم‌آبیاری در شرایط استفاده از آب شور، نه تنها باعث کاهش عمق آب مصرفی بلکه باعث افزایش عمق بهینه آبیاری در مقایسه با عمق آبیاری ماکزیمم می‌گردد. زیرا در شرایط تنش شوری به دلیل افزایش پتانسیل اسمزی میزان جذب آب توسط ریشه‌های گیاه کاهش می‌یابد و در نتیجه برای رسیدن به عملکرد مطلوب باید آب بیش‌تری مصرف نمود.

جدول ۱۱. مقادیر مختلف ضرایب  $a_1, b_1, c_1, a_2, b_2$  و عمق‌های بهینه آبیاری برای شوری‌های مختلف آب آبیاری

$W_m$ (mm)	$W_{c1}$ (mm)	$W_w$ (mm)	$W_1$ (mm)	$b_2$	$a_2$	$c_1$	$b_1$	$a_1$	$Ec$ ( $dS m^{-1}$ )
۱۴۲/۴	۲۸۵/۲	۱۴۹/۷	۱۴۲/۶	۱۸۰۰۰۰	۱۳۵۰۰۰۰۰	۱۰/۷۸	-۳۰۶/۸۵	۲۸۲۵/۴۶	۰/۷
۱۲۶/۸	۲۵۴/۱	۱۴۷	۱۲۷	۱۸۰۰۰۰	۱۳۵۰۰۰۰۰	۱۰/۷۸	-۲۷۳/۳	۲۷۲۸/۲۸	۴
۱۰۷/۹	۲۱۶/۳	۱۳۴/۷	۱۰۸/۲	۱۸۰۰۰۰	۱۳۵۰۰۰۰۰	۱۰/۷۸	-۲۳۲/۶۲	۲۳۶۴/۹	۸
۸۹/۱	۱۷۸/۶	۱۰۹/۴	۸۹/۳	۱۸۰۰۰۰	۱۳۵۰۰۰۰۰	۱۰/۷۸	-۱۹۱/۹۵	۱۶۹۸/۱۵	۱۲

### آستانه تحمل به شوری گلرنگ

در شکل (۴) تغییرات عملکرد نسبی دانه گلرنگ به شوری آب آبیاری مطابق با مدل خطی ماس-هافمن ارائه شده است. مطابق با مدل خطی ارائه شده توسط (Mass & Hoffman 1977)، مقدار حد آستانه شوری و شیب کاهش عملکرد به ترتیب برابر ۱/۷۵ دسی زیمنس بر متر و پنج درصد برآورد گردید. این بدان معنی است که مطابق با مدل خطی میزان عملکرد نسبی گلرنگ تا شوری ۱/۷۵ دسی زیمنس بر متر برابر ۱۰۰ درصد بوده، اما در شوریهایی بالاتر از آن به تدریج عملکرد دانه شروع به کاهش پیدا می‌کند. به طوری که مقدار کاهش عملکرد دانه معادل پنج درصد به ازای هر واحد افزایش شوری آب آبیاری است. بر این اساس، مطابق با مدل خطی، کاهش عملکرد نسبی دانه به میزان ۱۰ درصد در شوری ۳/۷۵ دسی زیمنس بر متر و کاهش ۲۵ و ۵۰ درصدی عملکرد دانه به ترتیب در شوری ۶/۷۵ و ۱۱/۷۵ دسی زیمنس بر متر اتفاق می‌افتد. همچنین عملکرد نسبی دانه در شوری ۲۱/۷۵ دسی زیمنس بر متر به صفر خواهد رسید. کمالی و همکاران (۱۳۹۰) در پژوهش خود کاهش ۲۵ درصدی عملکرد گلرنگ را در شوری ۱۰ دسی زیمنس بر متر گزارش نمودند. علت اختلاف نتیجه آنها با نتیجه به دست آمده در پژوهش حاضر را می‌توان به تفاوت شرایط اقلیمی و نوع خاک منطقه مورد مطالعه آنها با منطقه مورد مطالعه در این پژوهش مربوط دانست. با مکان‌یابی حد آستانه تحمل به شوری گلرنگ و شیب کاهش عملکرد آن در نمودار واکنش تغییرات عملکرد گیاهان به شوری، گلرنگ را می‌توان از نظر عملکرد دانه در گروه گیاهان نسبتاً حساس به شوری طبقه‌بندی نمود. (Feizi et al (2010) در پژوهش خود گزارش نمودند که کاهش نسبی دانه گلرنگ به میزان ۱۰، ۲۵ و ۵۰ درصد به ترتیب در شوریهایی ۷/۲، ۱۰/۶ و ۱۲/۸ دسی زیمنس بر متر اتفاق افتاد. (Bassil & Kaffka (2002) حد آستانه تحمل به شوری برای گیاه گلرنگ را ۷/۲ دسی زیمنس بر متر گزارش کردند. علت اختلاف در نتایج به دست آمده در این پژوهش با نتایج محققان دیگر را می‌توان به تغییر ژنتیک سایر واریته‌های گلرنگ در جهت مقاومت به شوری، شرایط اقلیمی و مدیریت آبیاری مربوط دانست.



شکل ۴. تغییرات عملکرد نسبی دانه گلرنگ به شوری آب آبیاری مطابق با مدل خطی ماس-هافمن

### نتیجه‌گیری و پیشنهادها

برای برنامه‌ریزی استراتژی‌های مختلف مدیریت آبیاری در استفاده از آب‌های شور، دست یافتن به توابع تولید بهینه آب-شوری-عملکرد محصولات زراعی لازم و ضروری است. با توجه به این که داده‌های آزمایشگاهی و مزرعه‌ای که در آن تأثیر هم‌زمان شوری و تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ مورد بررسی قرار گرفته باشند، عموماً کمیاب و قابل دسترسی نیستند، در این پژوهش تابع درجه دوم به عنوان بهترین تابع تولید جهت تخمین عملکرد و اجزای عملکرد گیاه گلرنگ در مقادیر مختلف آب آبیاری و استفاده از آب شور معرفی گردید. با عنایت به این که ضرایب تابع درجه دوم به دست آمده در این پژوهش برای یک نوع خاک و در شرایط کاشت گلدانی بود این احتمال وجود دارد که استفاده از این ضرایب برای شرایط مزرعه که در آن تنوع و تغییرپذیری بافت خاک زیاد است، با اشکال مواجه باشد بنابراین پیشنهاد می‌گردد تحقیقات جامع‌تری در زمینه به دست آوردن ضرایب تابع درجه دوم برای گیاه گلرنگ در شرایط مزرعه و با تغییر کمی و کیفی آب آبیاری انجام پذیرد. از طرفی با توجه به این که به دست آوردن ضرایب توابع تولید آب-شوری-عملکرد محصولات زراعی با روش‌های آزمایشگاهی، محدود به یک منطقه خاص و یک سال زراعی مشخص است بنابراین تعمیم نتایج آن به سایر مناطق به راحتی



امکان پذیر نیست. رسم تغییرات کاهش عملکرد نسبی در مقابل شوری‌های مختلف آب آبیاری با استفاده از نمودار ماس-هافمن نشان داد که حد آستانه تحمل به شوری گلرنگ ۱/۷۵ دسی‌زیمنس بر متر است. هم‌چنین کاهش نسبی دانه گلرنگ به میزان ۱۰، ۲۵ و ۵۰ درصد به ترتیب در شوری‌های ۷/۲، ۱۰/۶ و ۱۲/۸ دسی‌زیمنس بر متر اتفاق افتاد. محاسبه عمق‌های بهینه آبیاری با فرض ثابت بودن شوری آب آبیاری نشان داد که این عمق‌ها در شرایط محدودیت زمین، محدودیت آب، عمق آبیاری ماکزیمم و عمق معادل آبیاری ماکزیمم در تیمار شاهد (آبیاری با آب غیرشور) به ترتیب ۱۴۲/۶، ۱۴۹/۷، ۲۸۵/۲ و ۱۴۲/۴ میلی‌متر به دست آمدند.

### "هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

## منابع

- اداره کل پنبه، دانه‌های روغنی و گیاهان صنعتی. ۱۳۹۳. طرح افزایش خوداتکایی در تولید دانه‌های روغنی (با محوریت اقتصاد مقاومتی). معاونت امور زراعت، وزارت جهاد کشاورزی. ۱۴۳ صفحه.
- اسدی، لیدا؛ خوش‌روش، مجتبی؛ پورغلام، مسعود؛ لیاقت، عبدالمجید و یوری، محمد رضا (۱۳۹۷). تخمین تابع تولید آب-نیترژن دانه سویا. نشریه تحقیقات آب و خاک ایران، (۳)۴۹، ۶۶۵-۶۷۲.
- امیدی، امیرحسین؛ جباری، حمید و رضائی، زهره (۱۴۰۰). بررسی اثرات فواصل ردیف و تراکم کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه ارقام گلرنگ در شرایط آبی. نشریه علمی یافته‌های تحقیقاتی در گیاهان زراعی و باغی، (۱)۱۰، ۲۳-۳۲.
- انصاری، حسین (۱۳۸۶). تعیین عمق شاخص و بهینه آبیاری در ذرت‌های زودرس با هدف احتساب حداکثر سود. نشریه علوم آب و خاک، (۲)۲۲، ۱۱۵-۱۰۷.
- بناکار، محمد حسین؛ امیری، حمزه؛ رنجبر، غلامحسین و سرافراز اردکانی، محمد رضا (۱۳۹۹). تعیین حد آستانه تحمل به شوری و اثرات استفاده از آب شور بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه شبلیله (*Trigonella foenum-graceum*). نشریه فرآیند و کارکرد گیاهی، (۳۹)۹: ۲۸۹-۳۱۰.
- بی‌نام. (۱۴۰۱). سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی خراسان رضوی، ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کاشمر، ایران.
- بی‌نام. (۱۳۹۷). سیمای آب استان خراسان رضوی. شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، معاونت برنامه‌ریزی، دفتر برنامه‌ریزی و بررسی‌های اقتصادی، گروه آمار، ۲۸ صفحه.
- خوشنام، علی و ممنوعی، ابراهیم (۱۴۰۰). بررسی اثر تنش کم‌آبی و تراکم بوته بر عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) در جنوب کرمان. نشریه تنش‌های محیطی در علوم زراعی، (۱)۱۴، ۳۹-۴۶.
- دهقان، هادی؛ مکاری، مهدی و عابدین‌پور، میثم (۱۳۹۹). تعیین تابع تولید آب-شوری-عملکرد برای گیاه اسفناج. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، (۱)۳۴، ۹۲-۷۹.
- راشکی، پریا؛ پیری، حلیمه و خمری، عیسی (۱۳۹۹). تعیین تابع تولید و عمق بهینه آبیاری گیاه دارویی چای ترش در شرایط کم‌آبی و استفاده از کود پتاسیم. نشریه مدیریت آب و آبیاری، (۲)۱۰، ۱۸۹-۲۰۲.
- شیرمحمدی علی اکبر خانی، زهرا؛ انصاری، حسین؛ عزیززاده، امین و کافی، محمد (۱۳۹۲). ارزیابی توابع تولید آب-شوری-عملکرد در ذرت علوفه‌ای در استان خراسان رضوی. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، (۴)۷، ۵۳۵-۵۴۳.
- صالحی، معصومه؛ کافی، محمد و کیانی، علیرضا (۱۳۹۰). تعیین بهترین تابع آب-شوری کوشیا در اراضی استان گلستان. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، (۶)۲۵، ۱۳۹۵-۱۴۰۳.
- عبدزادگوهری، علی؛ بابازاده، حسین؛ امیری، ابراهیم و صدقی، حسین (۱۳۹۶). تخمین تابع تولید ارقام بادام زمینی در سطوح مختلف آب آبیاری و شوری. نشریه مدیریت آب و آبیاری، (۱)۷، ۸۷-۱۰۴.
- فرهمند، انور؛ اوستان، شاهین؛ جعفرزاده، علی اصغر و علی اصغرزاد، ناصر (۱۳۹۱). پارامترهای شوری و سدیمی بودن در برخی خاک‌های متأثر از نمک دشت تبریز. نشریه دانش آب و خاک، (۱)۲۲، ۱-۱۵.
- کمالی، الهه؛ شاه‌محمدی حیدری، زمان؛ حیدری، مصطفی و فیضی، محمد (۱۳۹۰). اثر شوری آب آبیاری و آبشویی بر خصوصیات شیمیایی خاک و عملکرد گلرنگ در منطقه اصفهان. مجله علوم گیاهان زراعی ایران، (۱)۴۲، ۶۳-۷۰.
- محمدی، مسعود؛ لیاقت، عبدالمجید و مولوی، حسین (۱۳۸۹). بهینه‌سازی مصرف آب و تعیین ضرایب حساسیت گوجه فرنگی در شرایط توأمان تنش شوری و خشکی در منطقه کرج. نشریه آب و خاک، (۳)۲۴، ۵۸۳-۵۹۲.
- نجفی مود، محمد حسین؛ عزیززاده، امین؛ داوری، کامران؛ کافی، محمد و شهیدی، علی (۱۳۹۱). تعیین تابع برتر آب-شوری-عملکرد در دو رقم پنبه. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، (۳)۲۶، ۶۷۲-۶۷۹.



## REFERENCES

- Abdazdgohari, A., Babazadeh, H., Amiri, E., & Sedghi, H. (2018). Estimation of production function in peanut cultivars on irrigation management and salinity levels. *Journal of Water Irrigation Management*, 7(1), 87-104 (In Persian).
- Anonymous. (2022). Agricultural research, education and extension organization of Razavi Khorasan Province, Agricultural research and natural resources station of Kashmar, Iran.
- Anonymous. (2018). Water appearance of Razavi Khorasan Province, Regional water company of Razavi Khorasan, vice president of planning, Bureau of planning and economic surveys, Statistics group, pp. 28 (In Persian).
- Ansari, H. (2008). Determining the index and optimal irrigation depths to maximize benefit of early maturing corn. *Journal of Water and Soil*, 22(2), 107-115 (In Persian).
- Asadi, L., Khoshravesh, M., Pourgholam-Amiji, M., Liaghat, A. M., & Youri, M. R. (2018). Estimation of soybean water-nitrogen production function. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 49(3), 665-672 (In Persian).
- Ayers, R. S., & Westcott, D. W. (1985). Water quality for agriculture. Irrigation and Drainage paper, No. 29, Rev. 1, FAO, Rome.
- Banakar, M. H., Amiri, H., Ranjbar, G. H., & Sarafraz Ardakani, M. R. (2020). Determination of salt tolerance threshold and effects of using saline water on grain yield and yield components of fenugreek (*Trigonella foenum-graceum*). *Journal of Plant Process and Function*, 9(39), 289-310 (In Persian).
- Bassil, E. S., & Kaffka, S. R. (2002). Response of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) to saline soils and irrigation: I. consumptive water use. *Agricultural Water Management*, 45, 67-80.
- Cotton, oil seeds and industrial plants administration. (2014). Increase self-reliance plan in oil seeds production (Based on resistance economy). Deputy minister of agriculture, Ministry of agriculture -Jahad. Pp.143 (In Persian).
- Datta, K. K., Sharma, V. P., & Sharma, D. P. (1998). Estimation of a production function for wheat under saline conditions. *Agricultural Water Management*, 36, 85-94.
- Debaeke, P., & Aboudrare, A. (2004). Adaptation of crop management to water-limited environmental. *European Journal of Agronomy*, 21, 433-446.
- Dehghan, H., Mokari, M., & Abedinpour, M. (2020). Determination of water-salinity-yield production function for spinach plant. *Journal of Water Research in Agriculture (Soil and Water Science)*, 34(1), 79-92 (In Persian).
- Farahbakhsh, M., Sarai Tabrizi, M., & Babazadeh, H. (2023). Determining basil production functions under simultaneous water, salinity and nitrogen stresses. *Applied Water Science*, 13(3), 1-12.
- Farahmand, A., Oustan, Sh., Jafarzadeh, A., & Aliasgharzad, N. (2012). Salinity and sodicity parameters in some salt-affected soils of Tabriz plain. *Water and Soil Science*, 22(1), 1-15 (In Persian).
- Feizi, M., Hajabbasi, M. A., & Mostafazadeh-Fard, B. (2010). Saline irrigation water management strategies for better yield of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) in arid region. *Australian Journal of Crop Science*, 4(6), 408-414.
- Foster, T., & Brozovic, N. (2018). Simulating crop-water production functions using crop growth models to support water policy assessments. *Ecological Economy*, 152, 9-21.
- Fraj, M. B., Al-Dakheel, A. J., McCann, I. R., Shabbir, G. M., Rumman, G. A., & Al Gailani, A. Q. A. M. (2013). Selection of high yielding and stable safflower (*Carthamus tinctorius* L.) genotypes under salinity stress. *Agricultural Science Research Journal*, 3(9), 273-283.
- Hagemeyer, J. (1997). Salt. In: Plant Ecophysiology. (ed. Prasad, M. N. V.) Wiley and Sons, Inc. New York.
- Homaee, M., Driksen, C., & Feddes, R. A. (2002). Simulation of root water uptake, I: Non-uniform ransient salinity using different macroscopic reduction functions. *Agricultural Water Management*, 57, 89-109.
- Kamali, E., Shahmohammadi Heydari, Z., Heydari, M., & Feyzi, M. (2011). Effects of irrigation water salinity and leaching fraction on soil chemical characteristic, grain yield, yield components and cation accumulation in safflower in Esfahan. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 42(1), 63-70 (In Persian).
- Karaca, C., Aslan, G. E., Buyuktas, D., Kurunc, A., Bastug, R., & Navarro, A. (2023). Effects of salinity stress on drip irrigated tomatoes grown under Mediterranean-type greenhouse conditions. *Journal of Agronomy*, 13(36), 1-18.
- Khoshnam, A., & Mamnoie, E. (2020). Effect of water stress and plant density on yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) in south Kerman. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 14(1), 39-46 (In Persian).
- Kiani, A. R., & Abbasi, F. (2009). Assessment of the water-salinity crop production function of wheat using

- experimental data of the Golestan province, Iran. *Irrigation and Drainage*, 58, 445-455.
- Kikhezaleh, M., Ramroudi, M., Galavi, M., Ghanbari, S. A., & Fanaei, H. R. (2023). Effect of potassium on yield and some qualitative and physiological traits of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under drought stress conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 46(10), 2380-2392.
- Kolsaric, O., Allu, O., & Kaya, M. D. (2005). The effects of tillage and nitrogen doses on water use efficiency, soil moisture and seed characters of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) in wheat safflower rotation system. 5<sup>th</sup> International safflower Conference, Istanbul, 6-10 pp:126-131.
- Mass, E.V., & Hoffman, G. L. (1977). Crop salt tolerance-current assessment. *Journal of Irrigation and Drainage*, 103, 115-134.
- Mohammadi, M., Liaghat, A., & Molavi, H. (2010). Optimization of water use and determination of tomato sensitivity coefficients under combined salinity and drought stress in Karaj. *Journal of Water and Soil*, 24(3), 583-592 (In Persian).
- Mousavi Zadeh Mojarad, R. A., Feizi, M., & Ghobadinia, M. (2018). Prediction of safflower yield under different saline irrigation strategies using AquaCrop model in semi-arid regions. *Australian Journal of Crop Science*, 12(8), 1241-1249.
- Najafi Mood, M. H., Alizadeh, A., Davari, K., Kafi, M., & Shahidi, A. (2012). Determination of water-salinity production function for two cotton cultivars. *Journal of Water and Soil*, 26(3), 672-679 (In Persian).
- Omidi, A. H., Jabbari, H., & Ramezani, Z. (2021). Effects of row-spacing and plant density on seed yield and yield components of safflower cultivars under irrigated conditions. *Research Achievements for Field and Horticulture Crops*, 10(1), 23-32 (In Persian).
- Ould Ahmed, B. A., Yamamoto, T., & Inoue, M. (2007). Response of drip irrigated sorghum varieties growing in dune sand to salinity levels in irrigation water. *Journal of Applied Science*, 7, 1061-1066.
- Rashki, P., Piri, H., & Khammari, E. (2020). Determination of production function and optimal depth of irrigation of roselle under water deficit and potassium fertilizer. *Journal of Water and Irrigation Management*, 10(2), 189-202 (In Persian).
- Rashki, P., Piri, H., & Khamari, E. (2022). Determining the production function and optimal irrigation depth of Roselle in deficit irrigation conditions and using potassium fertilizer. *Agricultural Water Management*, 271, 107788.
- Royo, A., Aragues, R., Playan, E., & Ortiz, R. (2000). Salinity-grain yield response functions of barley cultivars assessed with a drip-injection irrigation system. *Soil Science Society of American Journal*, 64, 359-365.
- Salehi, M., Kafi, M., & Kiani, A. R. (2011). Water-salinity production function of Kochia in North of Golestan. *Journal of Water and Soil*, 25(6), 1395-1403 (In Persian).
- Seghatoleslami, M. J., Kafi, M., Majidi Heravan, A., Noor Mohammadi, G., & Darvish, F. (2008). Effect of drought stress at different growth stages on yield and water use efficiency of five proso millet genotypes. *Pakistan Journal of Botany*, 40(4), 1427-1432.
- Shen, X., Wang, G., Tilahun Zeleke, K., Si, Z., & Chen, J. (2020). Crop water production functions for winter wheat with drip fertigation in the North China plain. *Journal of Agronomy*, Doi:10.3390/agronomy10060876.
- Shirmohammadi Aliakbarkhani, Z., Ansari, H., Alizadeh, A., & Kafi, M. (2014). Assessment of water-salinity production functions of forage maize in Khorasan Razavi province. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 7(4), 535-543 (In Persian).
- Tafteh, A., Babazadeh, H., Ebrahimipak, N. A., & Kaveh, F. (2013). Evaluation and improvement of crop production functions for simulation winter wheat yields with two types of yield response factor. *Journal of Agricultural Science*, 5(3), 111-122.
- Tayebi, A., Afshar, H., Farahvash, F., Masood Sinki, J., & Nezarat, S. (2012). Effect of drought stress and different planting dates on safflower yield and its components in Tabriz region. *Iranian Journal of Plant Physiology*, 2(3), 445-453.
- Volkmar, K. M., Hu, Y., & Steppuhn, H. (1997). Physiological responses of plants to salinity: a review. *Canadian Journal of Plant Science*, 78, 19-27.
- Zhang, X., Yang, H., Shukla, M. K., & Du, T. (2023). Proposing a crop-water-salt production function based on plant response to stem water potential. *Agricultural Water Management*, 278, 108162.



## Assessment of yield and yield components production function of safflower under deficit irrigation and different salinity levels

### EXTENDED ABSTRACT

#### Introduction

Attention to water consumption management in agriculture section as the main consumer of water in Iran is vital. Increasing population growth and consequently increasing water consumption in various sections such as industry and drinking water make necessary to use irrigation water more efficiently. One of the important and debatable issues in agricultural section is water resources shortage for usage in irrigated lands. In addition to water resources shortage, soil and irrigation water salinity are the other serious restrictions for crop production in arid and semi-arid regions all over the world, too. Determination of crop production function is opening the path for the programming and policy of agricultural productions. Estimating crop production functions were generally done with two procedures. In the first way, relationship between yield-water; yield-salinity or yield-water-salinity are expressed based on the theoretical and empirical models, quantitatively. In the second way, crop production functions were estimated by the effect of different amounts of quality and quantity of irrigation water on crop yields using field observations and statistical analysis. Safflower as a moderately tolerant plant species to salinity is planting in arid and semi-arid regions where salinity is a serious restriction for crop growth. According to the conducted researches, drought stress in flowering period of safflower prohibits from pollination and resulting seed formation is reduced and ultimately grain yield affected. Assessing of safflower sensitivity to simultaneous effects of drought and salinity stress on yield-water-salinity production function has not been yet studied in arid Kashmar region. Therefore, in this study it was tried to survey the optimum crop production function of safflower by applying drought stress and irrigation with saline water under pot planting conditions.

#### Materials and Methods

This greenhouse study was conducted in winter 1400 and spring 1401 in Kashmar region. In order to better control of conditions governing the experiment, in terms of applying salinity and irrigation treatments and prevent from frost bitten of plant, pot research was used in greenhouse ambient. The experiment was done as a factorial in a form of completely randomized block design with three replications. Irrigation treatments including 100, 75 and 50 percent of water requirement and salinity treatments were 0.7, 4, 8 and 12 dS m<sup>-1</sup>. Salinity treatments were obtained by mixing fresh water with very salty groundwater. Various forms of production functions such as linear, Cobb-Douglas, quadratic and transcendental were utilized for predicting grain yield. The optimum crop production function was determined by fitting various forms of crop production functions on the obtained data from experiment using SPSS software. For assessing validity of the obtained functions, statistics of mean absolute error, normal root mean square error, determination coefficient, efficiency function and agreement index were used. Thereafter, using the optimum crop production function (quadratic function in this study), optimal depths of irrigation were calculated. Sigma plot software was used for preparing the graphs.

#### Results and Discussion

Variance analysis results showed that the combined effect of drought and salinity stress was significant on all of the measured traits except plant height and biomass at one percent probability level ( $P < 0.01$ ). The results also showed that the final rank of quadratic function was better than the other functions. Therefore, it can be concluded that quadratic function is the best crop production function for predicting the yield and yield components of safflower under drought and salinity stress. In all of the irrigation treatments, grain yield reduction gradient was higher by changing the salinity level from 0.7 to 4 dS m<sup>-1</sup> compared to changing of it from 4 to 8 and from 8 to 12 dS m<sup>-1</sup>. Optimal irrigation depths for witness treatment (i.e. irrigation with nonsaline water) in land constrain, water constrain, maximum irrigation depth and equivalent maximum irrigation depth were 142.6, 149.7, 258.2 and 142.4 mm, respectively.

#### Conclusion

As the experimental and field data, combining the effect of salinity and drought stress, on yield and yield components of safflower are rare, in this study quadratic function as the best crop production function for estimating yield and yield components of safflower is recommended. However, the obtained quadratic coefficients may be site specific and site condition (due to the soil type and the pot planting condition), thus these coefficients may not usable for field conditions. Therefore, it is recommended that more comprehensive studies are done for obtaining the quadratic coefficients of safflower in the field conditions by changing quantity and quality of irrigation water.

**Keywords:** Irrigation Management, Quadratic Function, Salinity Tolerance Threshold, Simultaneous Stress.