



به‌زرعی کشاورزی

دوره ۲۴ ■ شماره ۲ ■ تابستان ۱۴۰۱

صفحه‌های ۶۷۲-۶۵۹

DOI: 10.22059/jci.2021.317149.2503

مقاله پژوهشی:

اثر سوپرجاذب و کم‌آبیاری بر عملکرد، بهره‌وری مصرف آب و توابع تولید گوجه‌فرنگی گیلاسی

سید پویا حسینی^۱، سودابه گلستانی کرمانی^{۲*}، کوروش قادری^۳، نسرين سياري^۲

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

۲. استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

۳. دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۳/۱۷

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۱۰/۲۳

چکیده

با توجه به کمبود منابع آبی و اثرات منفی آن بر عملکرد محصولات کشاورزی و لزوم تأمین امنیت غذایی، ارائه راه‌کارهای مؤثر جهت بهبود مدیریت و بهره‌وری مصرف آب در این بخش ضروری است. بدین منظور در بهار ۱۳۹۸ آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه باهنر کرمان انجام شد. فاکتورهای پژوهش شامل سه سطح آبیاری FC₁₀₀، FC₇₅ و FC₅₀ (۱۰۰ و ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی) به‌عنوان فاکتور اول و دو سطح سوپرجاذب شامل S₀ و S₅ (صفر و ۵ گرم در هر کیلوگرم خاک) به‌عنوان فاکتور دوم بود که با پنج تکرار انجام شد. بیش‌ترین مقدار عملکرد (۴۰/۲۳ تن در هکتار) و بهره‌وری مصرف آب (۱۰/۳۶ کیلوگرم بر مترمکعب) در تیمار FC₁₀₀S₅ مشاهده شد که نسبت به مقادیر ثبت‌شده در شرایط رطوبتی مشابه و بدون کاربرد سوپرجاذب به‌ترتیب ۵/۷۱ و ۴۷/۶ درصد افزایش داشت. بیش‌ترین مقدار کلروفیل کل (۲۵/۱۲ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) در تیمار FC₁₀₀S₅ مشاهده شد که نسبت به مقدار شاهد ۱۹/۴۴ درصد افزایش داشت. بیش‌ترین مقدار ویتامین ث (۲۹/۱۰ میلی‌گرم در صد گرم نمونه) نیز در تیمار FC₅₀S₀ مشاهده شد که نسبت به حداقل مقدار ثبت‌شده ۱۸/۷۲ درصد افزایش داشت. در مجموع بررسی نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که بهره‌وری مصرف آب گوجه‌فرنگی گیلاسی با وجود کاهش ۲۵ درصدی رطوبت ظرفیت زراعی در تیمار FC₇₅S₅، اختلاف معنی‌داری با تیمار FC₁₀₀S₀ نداشت. براساس نتایج این پژوهش، تابع درجه دوم به‌عنوان تابع بهینه برآورد صفات مذکور در شرایط کاربرد و عدم کاربرد سوپرجاذب قابل توصیه می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: استاکوزورب، تابع بهینه، تنش رطوبتی، کلروفیل، ویتامین ث.

Effects of Superabsorbent and Deficit Irrigation on Yield, Water Productivity and Production Function of Cherry Tomato

Sayyed Pooya Hosseini¹, Soudabeh Golestani Kermani^{2*}, Kourosch Qaderi³, Nasrin Sayari²

1. Former M.Sc. Student, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.

2. Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.

3. Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.

Received: January 12, 2021

Accepted: June 7, 2021

Abstract

Due to scarcity of water resources, its negative effects on agricultural yield, and the need to ensure food security, it is necessary to provide effective strategies to improve management and water productivity in this sector. Accordingly, the present experiment has been carried out as a factorial based on completely randomized design during spring of 2019 in the research greenhouse of Shahid Bahonar University of Kerman. The research factors include 3 irrigation levels Fc₁₀₀, Fc₇₅, and Fc₅₀ (100%, 75%, and 50% field capacity) as the first factor and two superabsorbent levels S₀ and S₅ (0 and 5 gr/kg soil) as the second factor, performed with five replications. The results show that the maximum yield (40.23 ton/ha) and water productivity (10.36 kg/m³) belong to FC₁₀₀S₅ treatment, increasing by 5.71% and 47.6%, respectively, compared to the values recorded in similar level of irrigation and non-superabsorbent polymer. The maximum value of total chlorophyll (25.12 mg/ml) are observed in FC₁₀₀S₅ treatment, which in turn increase by 19.44%, compared to the control. The maximum value of vitamin c occurs in FC₁₀₀S₀ treatment, being 18.27% higher than minimum recorded value. Finally, the results show that the difference between irrigation water production of cherry tomato in FC₁₀₀S₀ and FC₇₅S₅ has not been not significant, despite 25% reduction in field capacity moisture at FC₇₅S₅. According to the results of this research, the quadratic production function is recommended as the optimal function to estimate the mentioned traits in terms of application and non-application of super absorbent.

Keywords: Chlorophyll, optimal function, stockosorb, vitamin c, water deficit.

۱. مقدمه

گوجه‌فرنگی گیاهی متعلق به خانواده (*Solanaceae*) و از سبزی‌های فصل گرم است که به دلیل وجود انواع ویتامین‌ها و املاح معدنی مورد توجه است (Bai & Lindhout, 2007). در سال‌های اخیر، تولید و پرورش برخی از ارقام خاص مانند گوجه‌فرنگی گیلانی (مینیا توری) به دلیل ظاهر جذاب برای مصرف به صورت خام و سالادی مورد توجه بیشتر قرار گرفته است. هم‌چنین با توجه به صدور فرآورده‌های آن به سایر کشورها، رونق بازار جهانی حاصل از تولید و فرآوری این محصول، می‌تواند اهمیت اقتصادی قابل توجهی داشته و نقش مؤثری در اشتغال‌زایی ایفا کند (Abushita et al., 2000). در مسیر تولید این محصول، کنترل تنش‌های غیرزنده به‌عنوان عامل اصلی کاهش‌دهنده عملکرد از اهمیت خاصی برخوردار است. وقوع تنش خشکی در مرحله میوه‌دهی با تخصیص بیش از ۱۷ درصد کاهش عملکرد به خود، تولید این محصول را با مشکلاتی مواجه کرده است (Ashraf & Harris, 2005). براساس نتایج پژوهش‌های انجام‌شده در شرایط کم‌آبی رشدونمو گوجه‌فرنگی به تأخیر افتاده، اندازه برگ کاهش یافته و تغییرات آناتومیکی در اثر تغییر اندازه سلول‌ها مشاهده شده است. هم‌چنین در شرایط تنش خشکی محتوای آب نسبی برگ گوجه‌فرنگی کاهش یافته و در نتیجه بسته‌شدن روزنه‌ها میزان هدایت روزنه‌ای، شدت فتوستنز و تعرق، فرآوری دی‌اکسیدکربن، عملکرد و اندازه میوه کاهش می‌یابد (Stikić et al., 2010; Nardella et al., 2012; Yang et al., 2012; Nangare et al., 2016; Hashem et al., 2018). از این‌رو، ارائه راه‌کارهای مؤثر جهت بهبود مدیریت و بهره‌وری مصرف آب در تولید این محصول از الزامات جدانشدنی بخش کشاورزی به‌ویژه در مناطق کم‌بارش است تا علاوه بر افزایش کارایی مصرف آب، باعث کاهش خسارات ناشی از خشکی نیز شود. کم‌آبیاری یک راه‌کار بهینه‌سازی عملکرد گیاهان تحت تنش است که

با وجود کاهش محصول در واحد سطح و خسارت‌های احتمالی، می‌تواند برای بهبود و تثبیت تولید استفاده شود (Hashemi-nia, 2007).

یکی دیگر از راه‌کارهای استفاده بهینه از منابع آبی، کاربرد اصلاح‌کننده‌های مصنوعی به نام پلیمر سوپرجاذب است. هیدروژل سوپرجاذب، پلیمری آب‌دوست و سه‌بعدی است که قابلیت جذب و نگهداری مقادیر زیادی آب و محلول‌های غذایی را حتی در فشار لایه‌های بالایی خاک دارد و باعث افزایش قابلیت نگهداری و ذخیره‌سازی آب در خاک می‌شود (Han et al., 2010). بنابراین خاک برای مدت طولانی‌تر مرطوب باقی مانده و به دلیل کاهش تعداد دفعات آبیاری، گزینه مناسبی برای مدیریت بهینه منابع آب در مناطق خشک است. پژوهش‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که کاربرد کم‌آبیاری و پلیمرهای جاذب رطوبت می‌تواند باعث کاهش اثرات تنش بر عملکرد محصولات کشاورزی و اجزای آن شود که از آن جمله می‌توان به پژوهش (Rahimian & Sajedinia et al., 2018; Zabihi, 2018) اشاره کرد.

ارائه روابط ساده و کاربردی که بتواند تخمین مناسبی از پارامترهای کمی و کیفی عملکرد در شرایط کاهش تخصیص آب داشته باشد، از اهمیت زیادی برخوردار است. این روابط ساده که به نام توابع تولید معروفند، در واقع یک رابطه ریاضی بین پارامترهای کمی یا کیفی عملکرد و نهاده‌های مصرفی در فرایند تولید است و با برآورد این توابع می‌توان تأثیر نسبی هر یک از نهاده‌ها را بر تغییرات تولید محاسبه نمود (Kiani et al., 2006; Kiani & Abbasi, 2009). معمولاً تابع تولید را برحسب تعداد اندکی از عوامل متغیر و در عین حال تحت کنترل، برآورد می‌کنند (Najafi Mood et al., 2012). بسیاری از پژوهش‌گران سعی کرده‌اند روابطی ساده بین مقدار آب مصرفی و عملکرد محصولات کشاورزی تحت شرایط

نشا از بذر گوجه‌فرنگی گیلاسی قرمز (*Lycopersicum Esculentum var. Cerasiforme*) شرکت گلبرگ پامچال با درصد خلوص ۱۰۰ و درصد جوانه‌زنی ۹۸ استفاده شد. بذرها در سینی نشا با بستر پیت‌ماوس کشت شدند و بعد از ۳۰ روز و رسیدن به مرحله پنچ برگی به گلدان‌های اصلی با ارتفاع ۲۲ سانتی‌متر و قطر دهانه ۲۰ سانتی‌متر انتقال داده شدند. به‌منظور آماده‌سازی بستر کشت در گلدان اصلی از ترکیب شن شسته شده و خاک کشاورزی به نسبت ۳ به ۱ استفاده شد که برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن در جدول (۱) ارائه شده است. برای دستیابی به اهداف مدنظر، طرح آزمایشی به‌صورت فاکتوریل بر مبنای طرح کاملاً تصادفی با پنج تکرار انجام شد که سه سطح آبیاری ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه به‌عنوان فاکتور اول و دو سطح سوپرجاذب استاکوزورب صفر و ۵ گرم در کیلوگرم به‌عنوان فاکتور دوم در نظر گرفته شدند. سوپرجاذب استاکوزورب دارای دانه‌های سفید رنگ با اندازه ذرات ۰/۲-۰/۸ میلی‌متر، اسیدیته ۷-۸، ماندگاری حداقل هفت سال و ظرفیت جذب آب حداقل ۱۵۰ و حداکثر ۴۴۰ میلی‌لیتر در گرم است که به‌صورت یکنواخت با خاک گلدان در تیمارهای موردنظر مخلوط شد (Jalili et al., 2017). آبیاری نشاهای گوجه‌فرنگی بعد از انتقال به گلدان‌های اصلی به‌مدت ۱۰ روز یکسان انجام شد و پس از سازگاری با محیط، سطوح کم‌آبیاری با استفاده از سامانه آبیاری قطره‌ای هوشمند تا انتهای دوره رشد اعمال شد که برخی از ویژگی‌های آب مورد استفاده در جدول (۲) ارائه شده است.

مختلف ارائه دهند که اغلب روابط از نوع درجه دوم یا اول هستند (Najafi Mood et al., 2012-2015; Shahidi et al., 2020; Piri, 2018). اما بررسی روابط حاکم بر آب مصرفی و صفات کیفی کم‌تر مورد بررسی قرار گرفته است که ارائه چنین روابطی می‌تواند در پیش‌بینی کیفیت محصولات به‌ویژه در شرایط اعمال تنش مؤثر باشد. در پژوهش حاضر با توجه به لزوم بهبود بهره‌وری مصرف آب و حفظ کیفیت محصولات در بخش کشاورزی به‌ویژه در مناطق کم‌بارش و خشک، ابتدا به بررسی اثرات سطوح مختلف تنش رطوبتی و سوپرجاذب بر عملکرد و برخی از صفات فیزیولوژیک گوجه‌فرنگی گیلاسی به‌عنوان یکی از سبزی‌های استفاده‌شده در تغذیه انسان که از تنوع مصرف برخوردار است و تولید آن می‌تواند درآمدزایی مناسبی هم داشته باشد، پرداخته شده و در ادامه برترین تابع برازش یافته جهت بررسی رابطه بین آب مصرفی و صفات مذکور در شرایط کاربرد و عدم کاربرد سوپرجاذب معرفی شده است.

۲. مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی توابع برازش یافته بر آب مصرفی - عملکرد، بهره‌وری مصرف آب، ویتامین ث و کلروفیل گوجه‌فرنگی گیلاسی و هم‌چنین بررسی اثر متقابل کم‌آبیاری و سوپرجاذب بر صفات مذکور، آزمایشی بر مبنای کشت گلدانی در بهار ۱۳۹۸ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان انجام شد. برای تولید

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک گلدان

N Total (percent)	P (Mg.kg ⁻¹)	K (Mg.kg ⁻¹)	pH	EC (ds/m)	رطوبت جمعیتی (%) PWP	رطوبت جمعیتی (%) FC	پگالی ظاهری (g/cm ³)	بافت خاک	نسبت (%)	نسبت (%)	نسبت (%)
۰/۰۲۴	۵/۲۹	۲۳۰	۷/۷	۴/۲۴	۸	۱۸	۱/۴۰	لوم شن	۸	۱۸	۷۴

جدول ۲. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب

Na ⁺ (meq/l)	Mg ²⁺ (meq/l)	Ca ²⁺ (meq/l)	HCO ₃ ⁻ (meq/l)	CO ₃ ²⁻ (meq/l)	EC (ds/m)	pH
۴/۴	۱/۶	۴	۵/۶	۰/۰۰	۱/۱۱۶	۶/۶۵

سپس با در اختیار داشتن وزن محصول و حجم آب مصرفی برای هر تیمار، بهره‌وری مصرفی آب آبیاری با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شد.

$$IWP = \frac{Y}{I} \times 100 \quad (\text{رابطه } ۲)$$

در رابطه (۲)، IWP = بهره‌وری مصرفی آب آبیاری برحسب کیلوگرم بر مترمکعب، Y = عملکرد برحسب کیلوگرم و I = حجم آبیاری در طول فصل کشت برحسب مترمکعب می‌باشد (Sanchez et al., 2015).

برای اندازه‌گیری ویتامین ث (آسکوربیک اسید) از روش ۲ و ۶- دی‌کلروفنول ایندوفنل استفاده شد و مقدار ویتامین ث برحسب میلی‌گرم آسکوربیک در ۱۰۰ گرم نمونه از رابطه (۳) محاسبه شد (ISIRI, 2008).

$$C = \left(V \times \frac{T}{W} \right) \times 100$$

(۳)

در رابطه فوق، C = میلی‌گرم آسکوربیک در ۱۰۰ گرم نمونه، V = میلی‌لیتر دی‌کلروفنول ایندوفنل مصرفی در تیتراسیون حجم معینی از نمونه صاف شده، T = اکی والان آسکوربیک اسید که برحسب میلی‌گرم آسکوربیک اسید در میلی‌لیتر رنگ بیان می‌شود، W = گرم نمونه در حجمی از محلول تیترا شده.

برای اندازه‌گیری کلروفیل ۱ گرم وزن تر نمونه برداشت شده از قسمت‌های میانی برگ جوان و توسعه یافته را در ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد ساییده و سپس عصاره حاصل به مدت پنج دقیقه در سانتریفیوژ با دور ۴۰۰۰ قرار داده شد. سپس ۳ میلی‌لیتر عصاره رویی را برداشته و میزان

جهت اعمال سطوح مختلف تنش رطوبتی از سامانه آبیاری قطره‌ای هوشمند مجهز به حسگرهای رطوبت‌سنج استفاده شد. قبل از نصب، ابتدا حسگرها براساس شرایط رطوبتی خاک گلدان کالیبره شده و رابطه بین رطوبت و عدد قرائت شده از حسگر استخراج شد (شکل ۱). سپس حسگرها به صورت افقی در وسط بدنه هر گلدان و در مجاورت ریشه نصب شدند. قرائت رطوبت خاک هر هشت ساعت یکبار به صورت اتوماتیک انجام و حجم آب در صورت لزوم با استفاده از رابطه (۱) محاسبه و توسط سامانه هوشمند اعمال می‌شد.

$$V = (\theta_1 - \theta_2) \times Z \times A \quad (\text{رابطه } ۱)$$

در رابطه (۱)، V = حجم آب برحسب مترمکعب، θ_1 = رطوبت حجمی خاک در سطح تنش مورد نظر، θ_2 = رطوبت حجمی قرائت شده خاک، Z = عمق ریشه گیاه برحسب متر، A = متوسط سطح مقطع گلدان برحسب مترمربع. لازم به ذکر است که جهت تأمین نیاز تغذیه‌ای گوجه‌فرنگی براساس نتایج آزمون خاک از کود امکس (Omex- NPK18) به نسبت ۱ گرم در ۲ لیتر آب در چهار مرحله برای همه تیمارها به صورت یکسان استفاده شد. هم‌چنین مبارزه با آفات و استفاده از قیم جهت نگهداری بوته‌ها نیز برای همه تیمارها طی دوره رشد انجام شد.

۲.۱. صفات اندازه‌گیری شده

پس از ظهور و رسیدگی میوه‌ها، برداشت محصول انجام شد و در هر مرحله از برداشت، وزن محصول ثبت شد.

درجات دو و بالاتر، لگاریتمی، نیمه‌لگاریتمی، نمایی و غیره ارائه می‌شود و تعیین فرم دقیق این تابع تا حدود زیادی بستگی به شرایط تولید دارد (as cited in Shahidi et al., 2020). در این بخش از پژوهش حاضر برای تعیین توابع تولید برتر آب- صفت موردنظر در شرایط اعمال کم آبیاری و سوپرجاذب از معادلات زیر استفاده شد.

$$Y = a + bI \quad \text{(رابطه ۷) فرمی خطی ساده}$$

$$Y = a + b \ln I \quad \text{(رابطه ۸) فرم خطی لگاریتمی}$$

$$Y = a + bI + cI^2 \quad \text{(رابطه ۹) فرم درجه دوم}$$

$$Y = a + bI + c \ln I \quad \text{(رابطه ۱۰) فرم متعالی}$$

در روابط فوق $I =$ حجم آب مصرفی (مترمکعب بر گیاه)، $Y =$ صفت موردنظر و a ، b و c ضرایب تجربی معادلات است که در دو حالت کاربرد و عدم کاربرد سوپرجاذب توسط نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۴) و براساس رگرسیون چندمتغیره استخراج شدند. به منظور ارزیابی توابع برازش یافته در مرحله اول به بررسی آماره فیشر پرداخته شد و توابعی که آماره فیشر معنی‌دار داشتند، رتبه‌بندی شدند. برای رتبه‌بندی و استخراج تابع برتر از شاخص‌های آماری خطای مطلق میانگین (MAE)، خطای نسبی جذر میانگین مربعات (RMSE)، بازده مدل (EF)، ضریب مقدار باقیمانده (CRM)، ضریب تبیین (CD) و نکویی برازش (R^2) استفاده شد (Kiani & Abbasi, 2009).

جذب نور محلول در طول موج‌های ۶۴۶ و ۶۶۳ به کمک اسپکتروفوتومتر قرائت شد و غلظت رنگیزه‌های کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل با استفاده از رابطه‌های (۴) تا (۶) محاسبه شد (Lichtenthaler & Welborn, 1983).

$$\text{Chlorophyll a (mg/ml)} = \quad \text{(رابطه ۴)}$$

$$12.21 A_{663} - 2.81 A_{646}$$

$$\text{Chlorophyll b (mg/ml)} = \quad \text{(رابطه ۵)}$$

$$20.13 A_{646} - 5.03 A_{663}$$

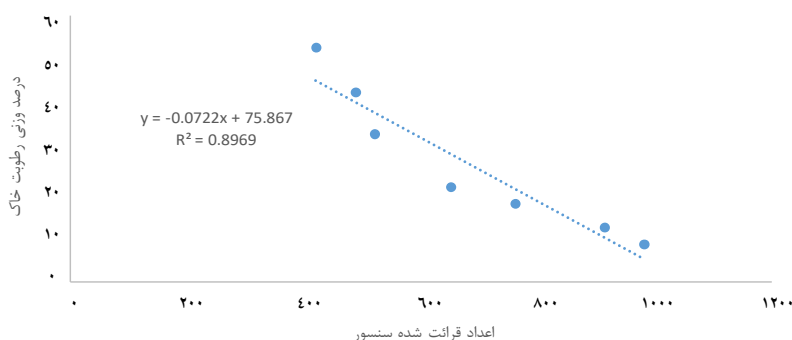
$$\text{Total Chlorophyll (mg/ml)} = \quad \text{(رابطه ۶)}$$

$$\text{Chlorophyll a} + \text{Chlorophyll b}$$

تجزیه و تحلیل و آنالیز آماری صفات ثبت شده با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۴) انجام شد. هم‌چنین مقایسه میانگین صفات نیز با استفاده از آزمون LSD و در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

۲.۲. توابع تولید برازش یافته

واکنش گیاه نسبت به آب به صورت تابع تولید بیان می‌شود و تعیین مقدار بهینه صفات در ازای آب مصرفی به تخمین‌های قابل اعتماد از میزان رطوبت ذخیره شده در خاک و اثر متقابل تنش‌های اعمال شده به گیاه و به‌ویژه انتخاب تابع برازش یافته مناسب نیازمند است. توابع به فرم‌های مختلف از ساده‌ترین فرم به صورت خطی تا شکل‌های پیچیده‌تر و در عین حال واقعی‌تر به صورت



شکل ۱. کالیبراسیون منحنی رطوبتی

۳. نتایج و بحث

۳.۱. تجزیه و تحلیل آماری صفات اندازه‌گیری شده

۳.۱.۱. عملکرد و بهره‌وری مصرف آب آبیاری (IWP)

بررسی مقادیر ثبت شده نشان داد که تأثیر کم‌آبیاری و سوپرچاذب بر صفات عملکرد و بهره‌وری مصرف آب معنی‌دار بود. اما برهم‌کنش آن‌ها فقط بر بهره‌وری مصرف آب در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات سطوح مختلف کم‌آبیاری اعمال شده نشان داد که بیش‌ترین مقدار عملکرد (۳۹/۰۸ تن بر هکتار) در تیمار FC₁₀₀ و کم‌ترین مقدار (۱۰/۳۹ تن بر هکتار) در تیمار FC₅₀ مشاهده شد. همچنین بیش‌ترین مقدار بهره‌وری مصرف آب (۸/۶۹ کیلوگرم بر مترمکعب) در تیمار FC₁₀₀ مشاهده شد که نسبت به حداقل مقدار مشاهده شده در تیمار FC₅₀، ۷۲/۷۶ درصد افزایش داشت (جدول ۴). بیش‌ترین عملکرد و بهره‌وری مصرف آب در نتیجه کاربرد سوپرچاذب (۲۴/۶۸ تن بر هکتار و ۷/۹۵ کیلوگرم بر مترمکعب) در تیمار S₅ مشاهده شد که نسبت به نمونه فاقد سوپرچاذب به ترتیب ۸/۷۷ و ۴۱/۷۱ درصد افزایش داشت (جدول ۵). مقایسه میانگین برهم‌کنش سطوح کم‌آبیاری اعمال شده در سوپرچاذب نیز نشان داد که بیش‌ترین بهره‌وری مصرف آب (۱۰/۳۶ کیلوگرم بر مترمکعب) در تیمار FC₁₀₀S₅ مشاهده شد که نسبت به

مقادیر مشاهده شده در شرایط رطوبتی مشابه و بدون کاربرد سوپرچاذب ۴۷/۶ درصد افزایش داشت (جدول ۶). تنش خشکی، از بزرگ‌شدن سلول‌ها بیش از تقسیم سلولی جلوگیری می‌کند و با تأثیر بر فرایندهای فیزیولوژیکی مثل فتوسنتز، تنفس، انتقال مجدد، جذب یونی، کربوهیدرات‌ها، سوخت‌وساز مواد اندوخته‌ای و سازمان‌یابی رشد، موجب کاهش رشد گیاه و در نهایت عملکرد می‌شود (Jaleel et al., 2007). همچنین تنش خشکی اساساً فتوسنتز را از طریق بستن روزنه‌ها و یا با مهارکردن فعالیت روپیسکو و دیگر آنزیم‌های فتوسنتزی، محدود می‌کند و در هر مرحله‌ای از رشد گیاه جذب، انتقال و مصرف عناصر غذایی را کاهش می‌دهد که به دنبال آن ذخیره کربن و ماده خشک گیاه کاهش می‌یابد (Hu & Schmidhalter, 2005). اما به نظر می‌رسد سوپرچاذب به دلیل جذب و آزادسازی رطوبت و املاح محلول توانسته است اثرات حاصل از تشدید تنش را کاهش دهد. همچنین در تیمارهای حاوی سوپرچاذب به دلیل حفظ رطوبت خاک و افزایش دور آبیاری، حجم آب مصرفی در مقایسه با تیمارهای فاقد سوپرچاذب افزایش یافت که در مجموع باعث بهبود بهره‌وری مصرف آب شد. نتایج ارائه شده در این بخش با نتایج ارائه شده توسط Hirich & Choukr-Allah (2017) همخوانی دارد.

جدول ۳. تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف تنش کم‌آبیاری و سوپرچاذب بر صفات گوجه‌فرنگی گیلاسی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		عملکرد	بهره‌وری مصرف آب	ویتامین ث	a کلروفیل
آبیاری	۲	۲۰۹۱/۵۳۰**	۳۳/۶۶۳**	۱۶/۸۹۳**	۵۸/۹۲۳**
سوپرچاذب	۱	۲۹/۶۲۰*	۴۰/۸۷**	۸/۵۸۹**	۱۶/۶۲۱**
آبیاری × سوپرچاذب	۲	۰/۴۸۴ ns	۱/۸۷*	۲/۸۹۲*	۳/۶۶۱*
خطا	۲۴	۴/۴۴۲	۰/۳۶۱	۰/۷۸۱	۰/۶۳۵
ضریب تغییرات (%)		۸/۸۹۷	۸/۸۶	۳/۳۴۷	۶/۱۶
					۳/۸۰
					۴/۲۱

ns، * و ** به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و بدون اختلاف معنی‌دار.

اثر سوپر جاذب و کم آبیاری بر عملکرد، بهره‌وری مصرف آب و توابع تولید گوجه‌فرنگی گیلاسی

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر سطوح کم آبیاری بر صفات گوجه‌فرنگی گیلاسی

سطح آبیاری	عملکرد (ton/ha)	بهره‌وری مصرف آب (kg/m ³)	ویتامین ث (mg/100g)	کلروفیل a (mg/ml)	کلروفیل b (mg/ml)
FC ₁₀₀	۳۹/۰۸a	۸/۶۹ a	۲۴/۶۱c	۱۶/۰۹ a	۶/۹۸ a
FC ₇₅	۲۱/۶۰ b	۶/۶۲ b	۲۶/۶۹b	۱۲/۸۷ b	۶/۶۷ a
FC ₅₀	۱۰/۳۹ c	۵/۰۳ c	۲۷/۹۳ a	۹/۸۳ c	۶/۱۳ b

حروف یکسان سطح معنی‌داری مشابهی را توسط آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد در هر ستون نشان می‌دهد.

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر سطوح سوپر جاذب بر صفات گوجه‌فرنگی گیلاسی

سطوح سوپر جاذب	عملکرد (ton/ha)	بهره‌وری مصرف آب (kg/m ³)	ویتامین ث (mg/100g)	کلروفیل a (mg/ml)	کلروفیل کل (mg/ml)
S ₀	۲۲/۶۹ b	۵/۶۱ b	۲۷/۱۰ a	۱۱/۹۷ b	۱۸/۴۶b
S ₅	۲۴/۶۸ a	۷/۹۵ a	۲۵/۷۲ b	۱۳/۸۹ a	۲۰/۵۹ a

حروف یکسان سطح معنی‌داری مشابهی را توسط آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد در هر ستون نشان می‌دهد.

جدول ۶. مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف کم آبیاری و سوپر جاذب بر صفات گوجه‌فرنگی گیلاسی

تیمار آبیاری	سوپر جاذب	بهره‌وری مصرف آب (kg/m ³)	ویتامین ث (mg/100g)	کلروفیل a (mg/ml)	کلروفیل کل (mg/ml)
FC ₁₀₀	S ₀	۷/۰۲ b	۲۴/۵۱ d	۱۴/۲۶ b	۲۱/۰۳ b
	S ₅	۱۰/۳۶ a	۲۴/۷۲ d	۱۷/۹۳a	۲۵/۱۲ a
FC ₇₅	S ₀	۵/۷۱ c	۲۷/۷۱ ab	۱۲/۵۴ c	۱۹/۲۰ c
	S ₅	۷/۵۴ b	۲۵/۶۸ cd	۱۳/۲۱ bc	۱۹/۸۸ bc
FC ₅₀	S ₀	۴/۱۲ d	۲۹/۱۰ a	۹/۱۲e	۱۵/۱۴ e
	S ₅	۵/۹۶c	۲۶/۷۷ bc	۱۰/۵۴ d	۱۶/۷۷ d

حروف یکسان سطح معنی‌داری مشابهی را توسط آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد در هر ستون نشان می‌دهد.

۳.۱.۲. ویتامین ث و کلروفیل

بررسی مقادیر ثبت‌شده نشان داد که تأثیر کم آبیاری و سوپر جاذب و برهم‌کنش آن‌ها بر ویتامین ث در سطح ۱ و ۱ و ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات سطوح کم آبیاری اعمال‌شده نشان داد که بیش‌ترین مقدار ویتامین ث (۲۷/۹۳ میلی‌گرم بر صد گرم وزن نمونه) در تیمار FC₅₀ مشاهده شد که نسبت به حداقل مقدار مشاهده شده در تیمار FC₁₀₀، ۱۳/۴۹ درصد افزایش داشت (جدول ۴). هم‌چنین بیش‌ترین میزان ویتامین در تیمار S₀ (۲۷/۱۰ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم وزن نمونه) دیده شد که ۵/۳۶ درصد

نسبت به نمونه دارای سوپر جاذب افزایش داشت (جدول ۵). مقایسه میانگین برهم‌کنش سطوح کم آبیاری اعمال‌شده در سوپر جاذب نیز نشان داد که بیش‌ترین مقدار ویتامین ث در تیمار FC₅₀S₀ (۲۹/۱۰ میلی‌گرم بر صد گرم وزن نمونه) مشاهده شد که نسبت به حداقل مقدار مشاهده‌شده در تیمار FC₁₀₀S₀، ۱۸/۷۲ درصد افزایش داشت (جدول ۶).

بررسی مقادیر ثبت‌شده نشان داد که اثر کم آبیاری روی کلروفیل a، b و کلروفیل کل در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. اما اثر سوپر جاذب و هم‌چنین برهم‌کنش کم آبیاری در سوپر جاذب روی کلروفیل a و کلروفیل کل

از قبیل خسارت به رنگدانه‌های فتوسنتزی به‌ویژه کلروفیل باشد (Lawlor & Cornic, 2002). در شرایط اعمال تنش کم‌آبی و کاهش پتانسیل آب گیاه، روزه‌ها مسدود شده و این امر سبب افزایش شدت خسارت تنش اکسیداتیو، تخریب کلروفیل‌ها و کاهش محتوای کلروفیل می‌شود (Najafi Babadi *et al.*, 2018). در این راستا پژوهش‌های انجام‌شده توسط Mahmoodnia Meymand *et al.* (2013) نیز نشان داد که گونه‌های زراعی گوجه‌فرنگی در شرایط تنش خشکی، با کاهش عملکرد فلورسانس کلروفیل مواجه شده‌اند که می‌تواند نشان‌دهنده تخریب و غیرفعال‌شدن بخشی از سیستم فتوسنتزی تحت شرایط تنش باشد و در نهایت منجر به کاهش عملکرد کل شده است که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد. پژوهش‌های انجام‌شده توسط Azizi *et al.* (2011) نیز نشان داد که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین میزان کلروفیل برگ و سرعت فتوسنتز و میزان تعرق وجود دارد و با افزایش کلروفیل، توان فتوسنتزی برگ ارتقا می‌یابد که مستلزم بازشدن بیش‌تر روزه‌ها برای دریافت دی‌اکسیدکربن است و در نهایت منجر به افزایش عملکرد خواهد شد. اما تنش آبی با کاستن از طول دوره سبزمانی برگ و اختلال در انجام تبادلات گازی، موجب افت شدید تولید مواد فتوسنتزی می‌شود (Ashraf, 2010). در این شرایط میزان ذخیره و انتقال کربوهیدرات‌ها نیز کاهش یافته و در نهایت منجر به کاهش عملکرد می‌شود. علت کاهش محتوای کلروفیل در اثر تنش خشکی به‌علت افزایش تولید رادیکال‌های فعال اکسیژن است که این رادیکال‌های آزاد باعث پراکسیداسیون و در نتیجه تجزیه این رنگیزه می‌شود (Schütz & Fangmeier, 2001). هم‌چنین این مسأله ممکن است به‌علت افزایش فعالیت کلروفیلاز به هنگام تنش کم‌آبی باشد و به‌دلیل حساسیت بیش‌تر کلروفیل a، این نوع بیش‌تر از کلروفیل b تخریب می‌شود (Mafakheri *et al.*, 2010). این مطلب با نتایج حاصل از پژوهش حاضر نیز

معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین سطوح کم‌آبیاری اعمال‌شده نیز نشان داد که بیش‌ترین مقدار کلروفیل a (۱۶/۰۹۸۳ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) و کلروفیل b (۶/۹۸ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) در تیمار FC₁₀₀ مشاهده شد که نسبت به حداقل مقدار مشاهده‌شده در تیمار FC₅₀ به‌ترتیب ۶۳/۶۸ و ۱۳/۸۶ درصد افزایش داشت (جدول ۴). کاربرد سوپرجاذب نیز باعث افزایش ۱۶/۰۴ و ۱۱/۵۳ درصدی کلروفیل a و کل نسبت به نمونه فاقد سوپرجاذب شد (جدول ۵). مقایسه میانگین برهم‌کنش کم‌آبیاری در سوپرجاذب نیز نشان داد که بیش‌ترین مقدار کلروفیل a و کل در تیمار FC₁₀₀S₅ مشاهده شد که نسبت به مقادیر مشاهده‌شده در شرایط رطوبتی مشابه و فاقد سوپرجاذب ۲۵/۸۳ و ۱۹/۴۴ درصد افزایش داشت (جدول ۶).

از جمله تغییرات مهم در گیاهان که نشان‌دهنده اعمال تنش و در راستای مقابله با آن است، افزایش سطح آنتی‌اکسیدان‌های مختلف مانند آسکوربیک‌اسید (ویتامین ث) است که در غشای داخلی میتوکندری سنتز می‌شود و از تخریب بافت‌ها توسط رادیکال‌های آزاد جلوگیری می‌کند و میزان آن در شرایط خشکی در جهت کاهش آثار مخرب تنش افزایش می‌یابد (Dolat Abadian *et al.*, 2010). نتایج پژوهش‌های Valizadeh Ghalebeig *et al.* (2015) نیز نشان داد که افزایش تنش خشکی تأثیر مثبتی در افزایش ویتامین ث کاهو داشته است که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد.

میزان کلروفیل شاخص مناسبی از فتوسنتز و تولید در گیاه است و انتظار می‌رود برگ‌های گیاهان سالم که عملکرد بالایی دارند، از محتوای کلروفیل بالاتری برخوردار باشند. اما در شرایط اعمال تنش خشکی، کاهش تولید مواد پرورده توسط اندام فتوسنتزی می‌تواند به دلایل مختلف از جمله کاهش فشار آماس سلولی، کاهش سطح برگ، کاهش نرخ فتوسنتزی به‌دلیل محدودیت بیوشیمیایی ناشی از کمبود آب

کاربرد و عدم کاربرد سوپر جاذب را نشان می‌دهد. بررسی آماره فیشر نشان داد که توابع خطی ساده، لگاریتمی و درجه دوم توانسته‌اند در شرایط کاربرد و عدم کاربرد سوپر جاذب برآورد قابل قبولی از صفات مورد نظر داشته باشند و می‌توان نسبت به رتبه‌بندی آن‌ها و تعیین تابع برتر اقدام نمود. اما تابع متعالی به دلیل غیرمعنی‌دار شدن آماره فیشر، نتوانست تخمین مناسبی از صفات مذکور داشته باشد.

جهت رتبه‌بندی سه تابع مورد نظر از روش محاسبه پارامترهای آماری ذکر شده و رتبه‌دهی به پارامترها استفاده شد (Shahidi et al., 2020; Najafi Mood et al., 2015). نتایج ارائه شده در جدول‌های (۱۱) تا (۱۴) نشان داد که در شرایط عدم کاربرد سوپر جاذب، تابع درجه دوم با رتبه نهایی ۱ به عنوان تابع برتر برای پیش‌بینی همه صفات مورد بررسی انتخاب شد. در شرایط کاربرد سوپر جاذب نیز، تابع درجه دوم توانست رتبه ۱ را به خود اختصاص دهد و به عنوان تابع برتر برای پیش‌بینی عملکرد، ویتامین ث و کلروفیل انتخاب شد. مقادیر کم MAE و RMSE تابع درجه دوم نسبت به سایر توابع، نشان‌دهنده اختلاف کم مقادیر برآورده شده و مشاهده‌ای در این مدل است. هم‌چنین مقادیر بالای EF نشان‌دهنده کارایی مدل در پیش‌بینی مقادیر مورد نظر است.

همخوانی دارد. در حالی که اختلاف مشاهده شده بین تیمارهای مختلف اعمال شده در اغلب موارد روی کلروفیل b از نظر آماری معنی‌دار نبود، این اختلاف در مورد کلروفیل a و کل معنی‌دار بود که نشان‌دهنده تأثیرپذیری بیش‌تر کلروفیل a از تنش‌های محیطی است. Haghghi et al. (2014) و Saidi et al. (2014) نیز در پژوهش‌های خود نشان دادند که با افزایش تنش خشکی، میزان کلروفیل کاهش یافته است. اما از آنجاکه سوپر جاذب به عنوان یک ماده جذب‌کننده آب و سایر محلول‌ها عمل می‌کند، در جلوگیری از شست‌وشوی عناصر مهمی مانند نیتروژن از اطراف ریشه گیاه که در ساختار کلروفیل نقش داشته و در واقع همبستگی معنی‌دار و مثبت با محتوای کلروفیل برگ دارند، اثر مثبت داشته و باعث تقلیل آثار سو تنش خشکی و افزایش محتوای کلروفیل برگ می‌شود که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد (Ghasemi Ghehrasareh & Khoshkhouy, 2007). این اثر در مجموع باعث بهبود عملکرد و بهره‌وری مصرف آب در مقایسه با تیمارهای فاقد سوپر جاذب شده است.

۳.۲. ارزیابی توابع تولید برآزش یافته و تعیین تابع برتر آب- صفات بررسی شده

جدول‌های (۷) تا (۱۰) توابع تولید برآزش یافته در شرایط

جدول ۷. شکل‌های مختلف تابع تولید عملکرد گوجه‌فرنگی گیلاسی

توابع تولید	نوع تابع
$Y = -0.111 + 9.28 I$	تابع خطی ساده
$Y = 1.251 + 0.304 \ln I$	تابع لگاریتمی
$Y = -0.080 + 7.330 I + 27.646 I^2$	تابع درجه دوم
$Y = -3.536 + 43.174 I - 0.712 \ln I$ (ns)	تابع متعالی
$Y = -0.152 + 14.333 I$	تابع خطی ساده
$Y = 1.475 + 0.340 \ln I$	تابع لگاریتمی
$Y = 0.180 - 14.01 I + 549.5 I^2$	تابع درجه دوم
$Y = -0.441 + 11.530 I - 0.074 \ln I$ (ns)	تابع متعالی

ns: نشان‌دهنده عدم معنی‌داری.

جدول ۸. شکل‌های مختلف تابع تولید بهره‌وری مصرف آب گوجه‌فرنگی گیلاسی

نوع تابع	توابع تولید
تابع خطی ساده	$Y=2.070+104.115 I$
عدم کاربرد	$Y=17.618+3.492 \ln I$
سویرجاذب	$Y= -0.376+258.94 I-2195.69 I^2$
تابع متعالی	$Y=22.822-35.764 I+4.669 \ln I$ (ns)
تابع خطی ساده	$Y=1.673+238.6 I$
کاربرد	$Y=26.063+5.270 \ln I$
سویرجاذب	$Y= 8.514-580.9 I+11308 I^2$
تابع متعالی	$Y= -8.910 +237.632 I-2.551 \ln I$ (ns)

ns: نشان‌دهنده عدم معنی‌داری.

جدول ۹. شکل‌های مختلف تابع تولید ویتامین ث گوجه‌فرنگی گیلاسی

نوع تابع	توابع تولید
تابع خطی ساده	$Y=32.855-169.060 I$
عدم کاربرد	$Y= 8.247-5.485 \ln I$
سویرجاذب	$Y= 29.881+19.149 I-2668 I^2$
تابع متعالی	$Y= 58.153+339.092 I+5.676 \ln I$ (ns)
تابع خطی ساده	$Y=28.69-112.8 I$
کاربرد	$Y=17.263-2.460 \ln I$
سویرجاذب	$Y= 28.18 -69.8 I-837 I^2$
تابع متعالی	$Y= 14.984+15.483 I-2.970 \ln I$ (ns)

ns: نشان‌دهنده عدم معنی‌داری.

جدول ۱۰. شکل‌های مختلف تابع تولید کلروفیل گوجه‌فرنگی گیلاسی

نوع تابع	توابع تولید
تابع خطی ساده	$Y=11.421+206.826 I$
عدم کاربرد	$Y=42.784+7.076 \ln I$
سویرجاذب	$Y=1.37+842.98 I-9021.30 I^2$
تابع متعالی	$Y=96.928-367.88 I+19.186 \ln I$ (ns)
تابع خطی ساده	$Y=8.690+452.6 I$
کاربرد	$Y= 54.924+9.987 \ln I$
سویرجاذب	$Y= 20.85-580.9 I+2010 I^2$
تابع متعالی	$Y= -5.818+412.719 I-3.597 \ln I$ (ns)

ns: نشان‌دهنده عدم معنی‌داری.

اثر سوپر جاذب و کم آبیاری بر عملکرد، بهره‌وری مصرف آب و توابع تولید گوجه‌فرنگی گیلاسی

جدول ۱۱. شاخص‌های آماری مورد استفاده برای ارزیابی توابع آب- عملکرد

پارامترهای آماری	عدم کاربرد سوپر جاذب			کاربرد سوپر جاذب		
	خطی ساده	خطی لگاریتمی	درجه دو	خطی ساده	خطی لگاریتمی	درجه دو
R ²	(۲)۰/۹۹	(۳)۰/۹۸	(۱)۱/۰	(۲)۰/۹۶	(۳)۰/۹۱	(۱) ۱/۰
CD	(۲) -۳۰	(۳) ۳۶/۵۱	(۱) -۳۳۶/۱۱	(۲) -۲۴/۰۷	(۳) -۷۸/۰۷	(۱) -۱۴/۲۳
CRM	(۱) -۰/۰۰۱۷۹	(۳) ۰/۰۰۱۴۷	(۲) -۰/۰۰۰۱۶	(۲) ۰/۰۰۲۱۷	(۳) -۰/۰۰۰۶۷	(۱) -۰/۰۰۰۳۶۸
MAE	(۲) ۰/۰۰۲۴۳	(۳) ۰/۰۰۱۳۷	(۱) ۰/۰۰۰۱۹۸	(۲) ۰/۰۰۱۹۶۹	(۳) ۰/۰۰۲۸۶۹	(۱) ۰/۰۰۰۷۵۴
RMSE	(۲) ۰/۰۰۲۵۴	(۳) ۰/۰۰۱۴۷۱	(۱) ۰/۰۰۰۲۶	(۲) ۰/۰۰۲۰۷۸	(۳) ۰/۰۰۳۰۸۳۷	(۱) ۰/۰۰۰۱۲۲
EF	(۲) ۰/۹۹۹۰	(۳) ۰/۹۸۰	(۱) ۰/۹۹۹۹	(۲) ۰/۹۶۲	(۳) ۰/۹۱۸	(۱) ۰/۹۹۹
میانگین رتبه	۱/۸۳	۳	۱/۱۷	۲	۲/۶۷	۱/۵
رتبه نهایی	۲	۳	۱	۲	۳	۱

اعداد داخل پرانتز نشان‌دهنده رتبه توابع می‌باشند.

جدول ۱۲. شاخص‌های آماری مورد استفاده برای ارزیابی توابع آب- بهره‌وری مصرف آب

پارامترهای آماری	عدم کاربرد سوپر جاذب			کاربرد سوپر جاذب		
	خطی ساده	خطی لگاریتمی	درجه دو	خطی ساده	خطی لگاریتمی	درجه دو
R ²	(۲)۰/۹۹۸	(۳)۰/۹۷۵	(۱)۰/۹۹۹	(۱)۰/۹۹۹	(۳)۰/۹۵۴	(۲)۰/۹۸۶
CD	(۲) ۰/۰۰۱۴۷	(۱) ۰/۰۰۰۳	(۳) ۰/۰۰۰۴	(۲) ۳/۹۶۸۶	(۱) ۳/۵۷۶۷	(۳) ۴/۰۵۱۱
CRM	(۱) -۰/۰۰۰۰	(۳) ۰/۰۰۰۱	(۲) ۰/۰۰۰۰	(۲) ۰/۰۰۷۷۰	(۱) -۰/۱۰۱۶	(۳) ۰/۰۰۷۷۱
MAE	(۳) ۰/۱۷۶۳	(۲) ۰/۰۴۵	(۱) ۰/۰۰۰۰	(۲) ۰/۸۴۱۵	(۳) ۰/۹۵۹۹	(۱) ۰/۶۱۳۲
RMSE	(۲) ۰/۰۰۰۸۵	(۳) ۰/۰۰۳۳	(۱) ۰/۰۰۰۰	(۱) ۰/۱۳۵۶	(۳) ۰/۱۶۳۰	(۲) ۰/۱۴۴۷
EF	(۲) ۰/۹۹۸	(۳) ۰/۹۷۵	(۱) ۱/۰۰۰	(۱) ۰/۸۴۸۲	(۳) ۰/۷۸۰۷	(۲) ۰/۸۲۷۱
میانگین رتبه	۲	۲/۳۳	۱/۵	۱/۵	۲/۳۳	۲/۱۶
رتبه نهایی	۲	۳	۱	۱	۳	۲

اعداد داخل پرانتز نشان‌دهنده رتبه توابع می‌باشند.

جدول ۱۳. شاخص‌های آماری مورد استفاده برای ارزیابی توابع آب- ویتامین ث

پارامترهای آماری	عدم کاربرد سوپر جاذب			کاربرد سوپر جاذب		
	خطی ساده	خطی لگاریتمی	درجه دو	خطی ساده	خطی لگاریتمی	درجه دو
R ²	(۲)۰/۹۸۵	(۳)۰/۸۵۰	(۱)۰/۹۹۹	(۲)۰/۹۹۸	(۳)۰/۹۸۱	(۱) ۰/۹۹۹
CD	(۲) ۰/۰۰۱۰	(۱) ۰/۰۰۰۹	(۳) ۰/۰۰۱۱	(۲) ۲/۸۱۰۵	(۱) ۲/۵۳۳۰	(۳) ۲/۸۶۸۹
CRM	(۲) -۰/۰۰۰۰	(۳) ۰/۰۰۴۷۱	(۱) -۰/۰۰۰۰	(۲) ۰/۰۰۰۰	(۳) -۰/۰۰۲۲۷۹	(۱) -۰/۰۰۰۰۶
MAE	(۲) ۰/۲۱۴۳	(۳) ۱/۳۴۰۶	(۱) ۰/۰۰۰۵	(۲) ۰/۳۰۶۸	(۳) ۰/۵۹۹۸	(۱) ۰/۰۰۱۶
RMSE	(۲) ۰/۰۰۰۸۴	(۳) ۰/۰۰۵۶۷	(۱) ۰/۰۰۰۰	(۲) ۰/۰۰۰۱۲	(۳) ۰/۲۳۹۵	(۱) ۰/۰۰۰۰
EF	(۲) ۰/۹۸۵۸	(۳) ۰/۳۶۰۵	(۱) ۰/۹۹۱	(۲) ۰/۹۹۸۵	(۳) ۰/۴۵۹۴	(۱) ۰/۹۹۹
میانگین رتبه	۲	۲/۶۶	۱/۳۳	۲	۲/۶۶	۱/۳
رتبه نهایی	۲	۳	۱	۲	۳	۱

اعداد داخل پرانتز نشان‌دهنده رتبه توابع می‌باشند.

جدول ۱۴. شاخص‌های آماری مورد استفاده برای ارزیابی توابع آب-کلروفیل کل

کاربرد سوپر جاذب			عدم کاربرد سوپر جاذب			پارامترهای آماری
درجه دو	خطی لگاریتمی	خطی ساده	درجه دو	خطی لگاریتمی	خطی ساده	
(۱) ۰/۹۹۹	(۳) ۰/۹۰۱	(۲) ۰/۹۵۰	(۱) ۰/۹۹۹	(۲) ۰/۹۶۰	(۳) ۰/۹۰۱	R ²
(۲) ۳/۱۱۸۱	(۱) ۲/۸۰۸۶	(۳) ۳/۱۱۶۴	(۳) ۰/۰۰۱۸	(۱) ۰/۰۰۱۶	(۲) ۰/۰۰۱۷	CD
(۳) -۰/۰۰۰۲	(۲) -۰/۰۰۰۰	(۱) -۰/۱۳۴۵	(۲) -۰/۰۰۰۱	(۳) ۰/۰۰۰۰	(۱) -۰/۰۰۰۰	CRM
(۱) ۰/۰۰۰۴۸	(۳) ۲/۴۴۱۶	(۲) ۰/۷۱۷۳	(۱) ۰/۰۰۰۳	(۲) ۰/۴۶۳۶	(۳) ۰/۷۲۴۹	MAE
(۱) ۰/۰۰۰۲	(۲) ۰/۱۳۰۲	(۳) ۰/۰۳۷۰	(۱) ۰/۰۰۰۰	(۳) ۰/۴۱۸۸	(۲) ۰/۰۲۶۶	RMSE
(۳) ۰/۹۹۹	(۲) ۰/۳۹۳۸	(۱) ۰/۹۵۰۹	(۱) ۱/۰۰	(۳) ۰/۹۰۱۱	(۲) ۰/۹۶۰۰	EF
۱/۶۶	۲/۱۶	۲	۱/۵	۲/۳۳	۲/۱۶	میانگین رتبه
۱	۳	۲	۱	۳	۲	رتبه نهایی

اعداد داخل پرانتز نشان‌دهنده رتبه توابع می‌باشند.

شد. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که کاربرد سوپر جاذب باعث کاهش اثرات تنش کم‌آبی شد و بیش‌ترین مقدار بهره‌وری مصرف آب در تیمارهای دارای سوپر جاذب مشاهده شد. به‌طوری‌که با وجود کاهش تقریبی ۲۵ درصدی آب مصرفی، اختلاف آماری معنی‌داری بین تیمارهای FC₁₀₀S₀ و FC₇₅S₅ و هم‌چنین بین تیمارهای FC₅₀S₅ و FC₇₅S₀ مشاهده نشد. کم‌آبیاری باعث بهبود ویتامین ث و کاهش کلروفیل برگ شد، اما اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای FC₁₀₀S₀ و FC₇₅S₅ مشاهده نشد. ارزیابی توابع تولید برازش‌یافته نیز نشان داد که تابع درجه دوم در شرایط کاربرد و عدم کاربرد سوپر جاذب توانست با میانگین $EF=۰/۹۹۹$ و $RMSE=۰/۰۰۰۷۴$ برای پیش‌بینی عملکرد، $EF=۰/۹۹۵$ و $RMSE=۰/۰۰$ برای پیش‌بینی ویتامین ث، $EF=۰/۹۹۹$ و $RMSE=۰/۰۰۰۱$ برای پیش‌بینی کلروفیل کل به‌عنوان تابع برتر انتخاب شود. هم‌چنین تابع متعالی به‌دلیل غیرمعنی‌دار شدن آماره F نتوانست برآورد قابل‌قبولی از کلیه صفات مورد بررسی داشته باشد.

۵. تشکر و قدردانی

از کارکنان مجموعه گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه باهنر کرمان بابت همکاری در انجام این پژوهش، تشکر و قدردانی می‌گردد.

تنش کم‌آبی باعث وارد شدن خسارات احتمالی به عملکرد و سایر صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه زراعی خواهد شد. در این راستا، استفاده از مواد اصلاحی مانند پلیمرهای سوپر جاذب می‌تواند باعث کاهش اثرات تنش شود و انتخاب توابع برازشی مناسب می‌تواند تخمین مناسبی از تغییرات این صفات در شرایط تنشی مختلف ارائه دهد. اعمال تنش رطوبتی می‌تواند باعث کاهش یا افزایش اجزا کیفی و کمی عملکرد شود که برآورد دقیق آن، مدیریت تنش را آسان‌تر می‌نماید. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که در مجموع تابع درجه دوم در شرایط کاربرد و عدم کاربرد سوپر جاذب می‌تواند برآورد مناسبی از عملکرد، ویتامین ث و کلروفیل داشته باشد و نتایج حاصل از آن می‌تواند در انتخاب سطح تنش کم‌آبی مطلوب که هم منجر به صرفه‌جویی در مصرف آب و هم حفظ کیفیت محصول شود، مؤثر باشد.

۴. نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر به ارزیابی توابع تولید برازش‌یافته بر آب-عملکرد، بهره‌وری مصرف آب، ویتامین ث و کلروفیل گوجه‌فرنگی گیلاسی و هم‌چنین بررسی اثر اعمال کم‌آبیاری و سوپر جاذب بر صفات مذکور در کشت گلخانه‌ای پرداخته

International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 11(4):156-167. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20181104.3846>

Hashemi-nia, S. M. (2007). Water Management in Agriculture. Ferdowsi University of Mashhad Publication.

Han, Y. G., Yang, P. L., Luo, Y. P., Ren, S. M., Zhang, L. X., & Xu, L. (2010). Porosity change model for watered super absorbent polymer-treated soil. *Environmental Earth Sciences*, 61(6), 1197-1205. <https://doi.org/10.1007/s12665-009-0443-4>

Hirich, A., & Choukr-Allah, R. (2017). Water and energy use efficiency of green house and net house under desert conditions of UAE: Agronomic and economic analysis. In *Water resources in arid areas, the way forward*, 481-499. https://doi.org/10.1007/978-3-319-51856-5_28

Hu, Y., & Schmidhalter, U. (2005). Drought and salinity: A comparison of their effects on mineral nutrition of plants. *Plant Nutrition*, 168:541-549. <https://doi.org/10.1002/jpln.200420516>

ISIRI, Institute of standards and industrial research of Iran. (2008). Fruit Juices-Test Methods, 2685.

Jaleel, C. A., Manivannan, P., Kishorekumar, A., Sankar, B., Gopi, R., Somasundaram, R., & Panneerselvam, R. (2007). Altrations in osmasundaram, antioxidant enzymes and indole alkaloid levels in *Catharanthus roseus* exposed to water deficit. *Colloids and surfaces B: Biointerfaces*, 59, 150-157. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2007.05.001>

Jalili, S., Hadi, M., & Majnooni heris, A. (2017). Effect of superabsorbent polymer using on irrigated and rainfed wheat yield and yield components. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 48(4), 923-931. (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. *Water Management*, 58, 445-455. <https://doi.org/10.1002/ird.438>

Kiani, A. R., Homaei, M., & Mirlatifi, M. (2006). Evaluting yield production function under salinity and water stress condition. *Iranian Journal of Soil and Waters Stress*, 20(1), 73-83. (In Persian)

Lichtenthaler, H. K., & Wellburn, A. R. (1983). Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions*, 11, 591-592.

۶. تعارض منافع

هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۷. منابع

Abushita, A. A., Daood, H. G., & Biacsp, A. (2000). Change in carotenoids and antioxidant vitamins in tomato as a function of varietal and technological factors. *Journal of the American Chemical Society*, 48, 2075-2081. <https://doi.org/10.1021/jf990715p>

Ashraf, M. (2010). Inducing drought tolerance in plants: some recent advances. *Biotechnology Advances*, 28, 169-183. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2009.11.005>

Ashraf, M., & Harris, P. J. C. (2005). Abiotic stresses: plant resistance through breeding and molecular approaches. The Haworth Press, New York. pp. 277-300.

Azizi, G., Alimoradi, L., & Siyahmargoei, A. (2011). Investigation the relationship between SPAD number and chlorophyll content, photosynthesis and leaf nitrogen content of soybean. *Journal of Plant Environmental Physiology*, 6(23), 34-40. (In Persian).

Bai, Y., & Lindhout, P. (2007). Domestication and breeding of tomatoes: what have we gained and what can we gain in the future. *Annals of Botany*, 100 (5), 1085-1094. <https://doi.org/10.1093/aob/mcm150>

Dolat Abadian, A., Modarres Sanavy, S. A. M., & Sharifi, M. (2010). Effects of water deficit stress and foliar application of ascorbic acid on antioxidants enzymes activity and some biochemical changes in leaves of grain corn (*Zea maize* L.). *Iranian Journal of Biology*, 22(3), 407-422. (In Persian).

Ghasemi Ghehrasareh, M., & Khoshkhouy, M. (2007). Effects of superabsorbent polymer on irrigation interval and growth and development of chrysanthemum. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, 8(2), 65-82. (In Persian).

Haghighi, M., Mozafariyan, M., & Afifipour, Z. (2014). The Effect of Superabsorbent Polymer and Different Withholding Irrigation Level on Some Qualitative and Quantitative Traits of Tomato (*Lycopersicum esculentum*). *Journal of Horticultural Science*, 28(1), 125-133. (In Persian).

Hashem, M. S., Zin El-Abedin, T., & Al-Ghobari, H. M. (2018). Assessing effects of deficit irrigation techniques on water productivity of tomato for subsurface drip irrigation system.

- Lawlor, D. W., & Cornic, G. (2002). Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant cell and Environment*, 25, 275-294. <https://doi.org/10.1046/j.0016-8025.2001.00814.x>
- Mafakheri, A., Siosemardeh, A., Bahramnejad, B., Struik, P., & Sohrabi, Y. (2010). Effect of drought stress on yield, proline and chlorophyll contents in three chickpea cultivars. *Australian Journal of Crop Science*, 4(8), 580. <https://edepot.wur.nl/159961>
- Mahmoodnia Meymand, M., Farsi, M., Marashi, H. S., & Ebadi, P. (2013). Physiological Responses to Drought Stress in four Species of Tomato. *Journal of Horticultural Science*, 26(4), 409-416. (In Persian).
- Nardella, E., Giuliani, M. M., Gatta, G., & De Caro, A. (2012). Yield response to deficit irrigation and partial root-zone drying in processing tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2(2A), 209.
- Najafi Babadi, K., Hassibi, P., Roshanfekar, H., & Broumand Nasab, S. (2018). Effect of drought stress on chlorophyll fluorescence and forage yield of two forage millet cultivars (*Pennisetum americanum* var *nutrifeed* and *Panicum* sp var. *pishahang*). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 16(2), 333-344. (In Persian).
- 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).
- Najafi Mood, M. H., Shahidi, A., & Khaseisiuki, A. (2015). Determination of water-salt optimal production functions for yield quantitative components of Varamin and Khordad cotton cultivars. *Environmental Stresses in Crop Science*, 7(2), 123-136. (In Persian).
- Nangare, D. D., Singh, Y., Kumar, P. S., & Minhas, P. S. (2016). Growth, fruit yield and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as affected by deficit irrigation regulated on phenological basis. *Agricultural Water Management*, 171, 73-79. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.03.016>
- Piri, H. (2018). Determination of water production function- nitrogen fertilizer and evaluation of indices of onion production in zahak sistán and Baluchestan region. *Water and irrigation management*, 7(2), 287-303. (In Persian).
- Rahimian, M., & Zabihi, H. (2018). The Effect of Different Compost and Super Absorbent Polymers Combination on Yield and Water Use Efficiency for Tomato in Greenhouse Condition. *Journal of Water Research in Agriculture*, 31(4), 547-558. (In Persian).
- Saidi, M., Safari-Nia, H., Ganbari, F., & Sayaari, M. (2014). Evaluation of Physiological Indices of Tomato (*Solanum lycopersicum*) Plant Under Different Irrigation Intervals and Superabsorbent Polymer A200. *Journal of Crop Production And Processing*, 4(12), 335-347. (In Persian).
- Sajedinia, H., Saidi, M., Ghanbari, F., & Bagnazari, M. (2018). Effects of superabsorbent polymer on yield and some characteristics of tomato under various irrigation regimes. *Agricultural Science and Sustainable Production*, 28(4), 163-174. (In Persian).
- Sánchez, J. A., Reca, J., & Martínez, J. (2015). Water productivity in a Mediterranean semi-arid greenhouse district. *Water Resources Management*, 29(14), 5395-5411. <https://doi.org/10.1007/s11269-015-1125-5>
- Schütz, M., & Fangmeier, A. (2001). Growth and yield responses of spring wheat (*Triticum aestivum* L. cv. *Minaret*) to elevated CO₂ and water limitation. *Environmental Pollution*, 114(2), 187-194. [https://doi.org/10.1016/s0269-7491\(00\)00215-3](https://doi.org/10.1016/s0269-7491(00)00215-3)
- Shahidi, A., Bahrami, F., Najafi Mood, M. H., & Khasheisiuki, A. (2020). Determination of optimal water – yield production function of cotton production indices of varamin and khordad cultivars in sarayan area of south khorasan. *Iranian journal of Irrigation and drainage*, 14(1), 301-309. (In Persian).
- Stikić, R., Stričević, R., Jovanović, Z., Matović, G., Savić, S., Rovčanin, S., Knezevic, N., & Dodevic, S. (2010). Deficit irrigation methods management practices for horticulture and viticulture. University of Belgrade, Serbia.
- Valizadeh Ghalebeig, A., Nemati, S. H., Tehranifar, A., & Emami, H. (2015). Effects of A200 superabsorbent, bentonite and water stress on physiological traits and vitamin C of lettuce under greenhouse cultivation. *Journal of Soil and Plant Interaction*, 6 (1), 157-168. (In Persian).
- Yang, L., Qu, H., Zhang, Y., & Li, F. (2012). Effects of partial root-zone irrigation on physiology, fruit yield and quality and water use efficiency of tomato under different calcium levels. *Agricultural Water Management*, 104, 89-94. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.12.001>