تاثیر آب مغناطیسی‌شده در شرایط هم‌زمان تنش خشکی و شوری بر عملکرد کیفی توت‌فرنگی

چکیده

با توجه به افزایش جمعیت و نیاز روزافزون به غذا، توسعه کشاورزی امری ضروری است. بر اساس محدودیت منابع آبی، مدیریت منابع آب در کشاورزی بسیار حائز اهمیت است و باید در تمامی مراحل تولید کشاورزی مورد توجه قرار گیرد. در این پژوهش، آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتور آبیاری در سه سطح (۱۰۰ درصد FI (I1)، ۸۰ درصد FI (I2) و ۶۰ درصد FI (I3)) و شوری آب در سه سطح (آب چاه (S1)، ۲۰ میلی‌مولار یا ۲/۵۲ دسی‌زیمنس بر متر کلرید سدیم (S2) و ۴۰ میلی‌مولار یا ۵/۰۶ دسی‌زیمنس بر متر کلرید سدیم (S3)) در دو حالت غیر مغناطیس (W1) و مغناطیس (W2) آزمایش شد. اثرات سطح آبیاری، شوری و نوع آب آبیاری بر خصوصیات کیفی میوه توت‌فرنگی شامل پروتئین کل، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، مواد جامد محلول کل، اسیدیته قابل تیتراسیون، ویتامین C و درصد قند مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تمامی عوامل در سطح احتمال ۱ درصد بر خصوصیات کیفی میوه توت‌فرنگی تاثیر معنی‌داری داشته‌اند. در بین سطوح مختلف آبیاری، بیشترین میزان پروتئین کل، کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل به‌ترتیب برابر ۵/۰۹، ۲/۳۹، ۱/۰۵ و ۳/۴۴ میلی‌گرم بر گرم در تیمار ۱۰۰ درصد آبیاری و در بین سطوح مختلف شوری نیز به‌ترتیب ۵/۱۳، ۲/۴۹، ۱/۱۱ و ۳/۶۱ میلی‌گرم بر گرم در تیمار آب چاه به‌دست آمد. آب مغناطیسی نیز افزایش معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد بر خصوصیات کیفی میوه توت‌فرنگی داشت. پیشنهاد می‌شود که برای کاهش اثرات منفی شوری بر گیاهان، از ترکیبی از آب مغناطیسی و تنظیم سطح آبیاری استفاده شود. این ترکیب ممکن است به کاهش اثرات منفی شوری کمک کرده و در عین حال بهره‌وری آب در کشاورزی را افزایش دهد.

واژه‌های کلیدی: پروتئین، تنش توام، کلرید سدیم، کم آبیاری، ویتامین C.

The impact of magnetized water under combined drought and salinity stress conditions on the qualitative performance of strawberries

Abstract

Given the increasing population and the growing demand for food, the development of agriculture is essential. Due to the limitations of water resources, managing water in agriculture is highly important and should be considered at every stage of agricultural production. In this study, the experiment was conducted in a factorial design within a randomized complete block design with three replications. The irrigation factor was tested at three levels (100% FI (I1), 80% FI (I2), and 60% FI (I3)), and water salinity at three levels (well water (S1), 20 mM or 2.52 dS/m sodium chloride (S2), and 40 mM or 5.06 dS/m sodium chloride (S3)) in two conditions: non-magnetized (W1) and magnetized (W2) water. The effects of irrigation levels, salinity, and the type of irrigation water on the quality characteristics of strawberry fruit, including total protein, chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, total soluble solids, titratable acidity, vitamin C, and sugar content, were examined. The analysis of variance results showed that all factors had a significant impact on the quality characteristics of strawberry fruit at the ($p<0.01$). Among the different irrigation levels, the highest amounts of total protein, chlorophyll a, chlorophyll b, and total chlorophyll were 5.09, 2.39, 1.05, and 3.44 mg per gram, respectively, in the 100% irrigation treatment, while among the different salinity levels, these values were 5.13, 2.49, 1.11, and 3.61 mg per gram, respectively, in the well water treatment. Magnetized water also had a significant effect at the 1% probability level on the quality characteristics of strawberry fruit. It is recommended that a combination of magnetized water and regulated irrigation levels be used to reduce the negative effects of salinity on plants. This combination may help to mitigate the adverse effects of salinity while simultaneously increasing water productivity in agriculture.

Keywords: Combined Stress, Deficit Irrigation, Protein, Sodium Chloride, Vitamin C.

۱– مقدمه

توت فرنگی به عنوان یکی از محصولات مورد علاقه گلخانه‌ها در ایران شناخته می‌شود. رشد مناسب آن به حفظ تعادل مناسب تغذیه‌ای در مراحل مختلف رشد بستگی دارد. میوه توت‌فرنگی منبع غنی از ویتامین C بوده و میزان ویتامین C آن بین ۹۰–۴۰ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر متغیر است (Miller & Rice-Evans, 1997). میوه توت‌فرنگی همچنین سرشار از فیبر، ویتامین C و E، بتاکاروتن، ترکیبات فنلی، آنتوسیانین، پتاسیم و آنتیاکسیدان‌ها است (Oszmianski & Wojdylo, 2009). این میوه در مقایسه با دیگر میوه‌ها در مدت کوتاه‌تر، سود بیشتر نصیب تولیدکننده می‌کند.

با توجه به کمبود منابع آب شیرین در دسترس، استفاده از آب‌های نامتعارف برای رشد محصولات باغی از نظر اقتصادی، حائز اهمیت است. تنش شوری با در روند جذب آب و عناصر غذایی، تاثیر زیادی بر عملکرد کمی و کیفی گیاهان دارد. یکی از عوامل مـوثر در رشـد و عملکرد توت فرنگی، کیفیت آب مصرفی است و در صورت افزایش غلظت کلرید سدیم، عملکرد گیاه به شدت کاهش می‌یابد (Kaya et al., 2002; Pourgholam-Amiji et al., 2022). در شرایط تنش شوری، با افزایش غلظت نمک در محلول غذایی، پتانسیل اسمزی محلول افزایش یافته و جذب آب توسط گیاه کاهش می‌یابد. این امر منجر به کاهش فشار تورژسانس در سلول‌ها می‌شود. کاهش فشار تورژسانس باعث می‌شود که آب سلول‌ها از دست رفته و رشد آن‌ها متوقف شود. همچنین، کوچک شدن و ریزش برگ‌ها باعث کاهش منابع تولید آسیمیلات‌ها در گیاه می‌شود. به این ترتیب، میزان مواد مغذی دریافتی توسط سلول‌ها به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد که در نهایت به کاهش تعداد و اندازه سلول‌ها منجر می‌شود (Rawson et al., 1988; Khoshravesh & Pourgholam-Amiji, 2024). یکی از اثرات اولیه شوری، کاهش میزان آب موجود در بافت‌های گیاهی است. شوری باعث می‌شود که سلول‌ها انرژی بیشتری را برای حفظ وضعیت طبیعی خود مصرف کنند و در نتیجه، انرژی کمتری برای فرآیندهای رشد باقی می‌ماند (Seyed lor et al., 2009).

زمانی که گیاه تحت تأثیر تنش‌های زیستی و غیرزیستی قرار می‌گیرد، نخستین واکنش آن کاهش فعالیت‌های متابولیکی طبیعی است که به نوبه خود منجر به کاهش رشد گیاه می‌شود. در چنین شرایطی، کاهش سنتز پروتئین‌های محلول در برگ به عنوان یکی از اولین نشانه‌های منفی تنش ظاهر می‌شود و کاهش غلظت پروتئین‌ها در برگ‌ها به وضوح نمایانگر آسیب‌های ناشی از تنش در گیاه است (دولتشاه و همکاران، ۱۳۹۳).

۲– پیشینه پژوهش

در پژوهشی که توسط Pirlak & Eşitken (2004) انجام شد، دو رقم توت‌فرنگی فرن و کاماروزا در معرض محلول‌های غذایی با ECهای ۲، ۵ و ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر قرار گرفتند. نتایج نشان داد که با افزایش شوری، رشد گیاهان کاهش یافت و در EC برابر ۷/۵ میلی موس بر سانتی‌متر، گیاهان به طور کامل از بین رفتند. طالب‌زاده و همکاران (۱۳۸۸) با اعمال تیمارهای مختلف کلریدسدیم بر روی دو رقم گوجه‌فرنگی در شرایط گلخانه‌ای و به صورت آبکشت، مشاهده کردند که با افزایش کلریدسدیم، میزان کلروفیل a، b و کلروفیل کل کاهش یافت.

افزایش تنش خشکی نیز باعث کاهش اندازه و افزایش تراکم روزنه‌ها در توت‌فرنگی می‌شود. بر اساس گزارشی از قادری و سی‌وسه مرده (۱۳۹۲) که تأثیر خشکی بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژی ارقام کردستان و کوئین الیزای توت‌فرنگی را بررسی و کاهش در سطح برگ، وزن خشک برگ و ریشه، وزن خشک شاخساره و وزن خشک کل، همچنین محتوای نسبی آب، هدایت روزنه‌ای، عملکرد و وزن میوه را مشاهده کردند. در نهایت تنش خشکی در توت‌فرنگی با کاهش در اندازه میوه و مقدار محصول همراه بود. Raeini-Sarjaz & Chalavi (2011) بررسی کردند که افزایش تنش خشکی منجر به کاهش سطح برگ، وزن خشک برگ، وزن خشک برگچه، وزن خشک ریشه و وزن خشک گیاه توت‌فرنگی شد. آنها مشاهده کردند که سطح برگ ویژه توت‌فرنگی و میزان آب مصرفی در واحد سطح

برگ و مجموع آب مصرفی، با افزایش تنش خشکی و کاهش محتوای رطوبتی خاک کاهش می‌یابد. سطح برگ شاخصی است برای میزان تشعشعی که گیاه جذب می‌کند و در نتیجه میزان تعرق و تولید ماده خشک را تعیین می‌کند (Gine-Bordonaba & Terry, 2016). بر اساس گزارش قادری و سی‌وسه مرده (۱۳۹۲)، با کاهش محتوای نسبی آب خاک و افزایش شدت تنش خشکی در ارقام توت‌فرنگی مورد بررسی، مشاهده شد که تعرق و میزان کلروفیل کاهش یافته و میزان پرولین افزایش یافته است.

در مطالعه‌ای Giné Bordonaba & Terry (2010) با اعمال کم‌آبیاری روی توت‌فرنگی نشان دادند که کم‌آبیاری می‌تواند غلظت قند کل و برخی اسیدهای میوه را افزایش دهد. تحت تنش خشکی، کربوهیدرات‌ها به اشکال ساده‌تر تجزیه می‌شوند و مقدار کربوهیدرات‌های محلول افزایش می‌یابد. در توت‌فرنگی، این تنش باعث کاهش اندازه میوه و افزایش ماده خشک، غلظت آنتوسیانین‌ها و آنتی‌اکسیدان‌ها می‌شود. افزایش میزان ماده خشک میوه، قند میوه و برخی اسیدها افزایش می‌یابد. تجزیه نشاسته افزایش یافته و نسبت ساکارز به نشاسته افزایش، در حالی که انتقال ساکارز به خارج از برگ‌ها کاهش می‌یابد و این فرایند نقش مهمی در تنظیم اسمزی و تحمل تنش به‌ویژه در شرایط کمبود آب توسط گیاه ایفا می‌کند

آب مغناطیسی می‌تواند به بهبود اثرات منفی تنش خشکی و شوری بر عملکرد کیفی گیاهان، به‌ویژه گیاه توت فرنگی، کمک کند. میدان‌های مغناطیسی می‌توانند خواص فیزیکی و شیمیایی آب را تغییر دهند، که ممکن است به بهبود جذب آب و مواد مغذی توسط گیاهان منجر شود. در شرایط تنش خشکی و شوری، گیاهان با کاهش جذب آب و مواد مغذی مواجه می‌شوند و متابولیسم آنها تحت تأثیر قرار می‌گیرد. استفاده از آب مغناطیسی می‌تواند باعث افزایش کارایی استفاده از آب و بهبود تعادل یونی در گیاه شود، که نتیجه آن افزایش تحمل گیاه به شرایط استرس‌زا و بهبود کیفیت میوه‌ها است. آب مغناطیسی توسط گیاه به راحتی و سریع‌تر جذب می‌شود، که این امر باعث کاهش آسیب ناشی از کمبود آب می‌شود. همچنین، افزایش جذب مواد غذایی و املاح از خاک منجر به بهبود عملکرد گیاهان می‌گردد (Al-Khazan et al., 2011). در گزارش قدمی فیروزآبادی و همکاران (۱۳۹۵) آمده است که با استفاده از آب مغناطیسی در سطوح مختلف کم آبیاری، عملکرد دانه و زیست توده گیاه سویا به ترتیب ۱۱/۷۷ و ۱۱/۳۱ درصد افزایش یافت. همچنین Yusuf & AO (2017) دریافتند که عملکرد بوته‌های گوجه فرنگی آبیاری شده با آب مغناطیسی نسبت به آب معمولی تا ۳۳/۶۲ درصد افزایش یافت. در پژوهش Ahmed and EL-Kader (2016) تأثیر همزمان تنش خشکی و آب مغناطیسی بر کیفیت و میزان محصول، شاخص برداشت و کارایی مصرف آب در گیاه سیب‌زمینی افزایش یافته است.

با توجه به محدودیت منابع آب با کیفیت مناسب برای کشاورزی، کشاورزان ناگزیر به بهره‌گیری از آب‌های کم‌کیفیت و دارای شوری زیاد می‌شوند. تاکنون پژوهشی در مورد تاثیر آب مغناطیسی شده در شرایط همزمان تنش خشکی و شوری بر عملکرد کیفی توت فرنگی انجام نشده است. بنابراین، بررسی اثر آب مغناطیسی بر بهبود عملکرد کیفی توت فرنگی در شرایط تنش خشکی و شوری، می‌تواند نتایج کاربردی و ارزشمندی برای توسعه شیوه‌های پایدار کشاورزی ارائه دهد.

۳- مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در سال ۱۴۰۲ در مزرعه‌ای واقع در شهرستان بهنمیر استان مازندران انجام شد. بر اساس داده‌های بلندمدت و طبقه‌بندی اقلیمی دمارتن، این منطقه آب و هوای نیمه‌مرطوب دارد. آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد.

تیمار شاهد شامل آبیاری کامل با آب چاه در تمام مراحل رشد گیاه بود. فاکتور سطح آبیاری در سه سطح (۱۰۰ درصد FI (I1)، ۸۰ درصد FI (I2) و ۶۰ درصد FI (I3)) و شوری آب در سه سطح (آب چاه (S1)، ۲۰ میلی‌مولار یا ۲/۵۲ دسی‌زیمنس بر متر کلرید سدیم (S2) و ۴۰ میلی‌مولار ۵/۰۶ دسی‌زیمنس بر متر کلرید سدیم (S3)) در دو حالت غیر مغناطیس (W1) و مغناطیس (W2) مورد بررسی قرار گرفت. گیاه توت‌فرنگی رقم سیلوا در کرت‌هایی به ابعاد ۳ در ۴ متر کاشته شد. در این طرح، فاصله کاشت بین بوته‌ها روی هر ردیف و فاصله بین ردیف‌ها از یکدیگر ۲۵ سانتی‌متر بود.

ویراستاری نشده

ویژگی‌های شیمیایی آب چاه پیش از عبور از میدان مغناطیسی در جدول (۱) ارائه شده است. مغناطیسی کردن آب آبیاری با عبور آب از میان یک آهن‌ربای دائمی با شدت میدان مغناطیسی ۰/۳ تسلا انجام شد.

جدول ۱. خصوصیات شیمیایی آب چاه مزرعه مورد مطالعه

نوع منبع	EC (dS/m)	pH	Ca	Mg	Na	Cl	HCO_3
			meq/l				
آب چاه	۰/۶۷	۷/۴	۸/۳	۵/۱	۳/۷	۴/۷	۱۱/۹

به منظور تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، پیش از آغاز آزمایش و اعمال تیمارها، نمونه‌برداری از خاک مزرعه صورت گرفت. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول ۲. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه مورد مطالعه

عمق (سانتی‌متر)	ذرات تشکیل‌دهنده خاک (٪)			بافت خاک	ρ_b (g/cm^3)	pH	EC (dS/m)
	رس	سیلت	شن				
۳۰-۰	۱۸/۵۵	۲۵/۳۳	۵۶/۱۲	لومی شنی	۱/۴۸	۷/۲	۱/۳۵

روش آبیاری مورد استفاده، قطره‌ای نواری بود و میزان آب آبیاری و زمان‌بندی آن بر اساس نیاز گیاه تنظیم شد. برای تعیین مقدار آب مورد نیاز، رطوبت خاک پایش شد. عمق آبیاری بر اساس اندازه‌گیری رطوبت خاک و محاسبه کمبود رطوبت در تیمار آبیاری کامل در دوره‌های ۵ روزه، زمانی که رطوبت خاک به ۶۰ درصد آب قابل دسترس می‌رسید تخمین زده شد. میزان رطوبت حجمی خاک در زمان آبیاری با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد.

$$\theta_{RI} = \theta_{FC} - (\theta_{FC} - \theta_{PWP}) * MAD \quad (۱)$$

که θ_{RI} میزان رطوبت حجمی خاک در زمان آبیاری، θ_{FC} میزان رطوبت در حد ظرفیت زراعی، θ_{PWP} میزان رطوبت در نقطه پژمردگی دائم و MAD میزان تخلیه مجاز رطوبتی است. رطوبت خاک به صورت روزانه در هر سه سطح آبیاری پایش شد و کمبود رطوبت خاک (SMD) با استفاده از رابطه (۲) محاسبه گردید.

$$SMD = \sum_{i=1}^{n}(\theta_{FC} - \theta_{BI}) * D_i \quad (۲)$$

که D_i عمق لایه خاک و θ_{BI} رطوبت حجمی خاک قبل از آبیاری می‌باشد.

در پایان دوره آزمایش، پروتئین کل، کلروفیل a، b و کل، مواد جامد محلول کل (TSS)، اسیدیته قابل تیتراسیون (TA) و ویتامین C (اسید آسکوربیک) اندازه‌گیری شدند.

برای اندازه‌گیری پروتئین کل توت‌فرنگی، از روش بیوره استفاده شد. در روش بیوره، ابتدا عصاره توت‌فرنگی تهیه سپس به نمونه مقدار مشخصی از معرف بیوره اضافه شد که با پیوندهای پپتیدی پروتئین‌ها واکنش داده و ایجاد رنگ آبی کند. شدت رنگ آبی به‌وجودآمده متناسب با غلظت پروتئین است و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۴۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. مقدار جذب نوری با استفاده از یک منحنی استاندارد برای پروتئین‌های شناخته‌شده (مانند آلبومین) مقایسه شده و غلظت پروتئین کل در نمونه به صورت میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم توت‌فرنگی محاسبه و گزارش شد (Bradford, 1976).

برای اندازه‌گیری کلروفیل برگ توت‌فرنگی، ابتدا چندین برگ سالم و با اندازه مشابه از گیاهان انتخاب شدند. سپس، برگ‌ها را خرد کرده و ۰/۵ گرم از آنها را توزین کرده و در هاون به همراه ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد خرد و همگن شدند. محلول حاصل از فیلتراسیون عبور داده شد و از دستگاه اسپکتروفتومتر برای اندازه‌گیری جذب نوری محلول در طول موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر استفاده

ویرایش آبیاری شده

شد. میزان کلروفیل a ، کلروفیل b و کلروفیل کل بر اساس جذب نوری در این طول موج‌ها تعیین و گزارش شد (Hendry & Price, 1993).

برای اندازه‌گیری کل مواد جامد محلول (TSS) در توت‌فرنگی، ابتدا چندین میوه توت‌فرنگی انتخاب شدند و عصاره میوه روی منشور دستگاه رفراکتومتر (Refractometer) قرار گرفت. رفراکتومتر میزان شکست نور را که به دلیل غلظت مواد جامد محلول مانند قندها در آب میوه ایجاد می‌شود، اندازه‌گیری می‌کند. عدد نمایش داده شده توسط دستگاه به عنوان میزان کل مواد جامد محلول بر حسب درجه بریکس (°Brix) گزارش شد.

برای اندازه‌گیری اسیدیته قابل تیتراسیون (TA) در توت‌فرنگی، ابتدا مقدار مشخصی از عصاره توت‌فرنگی تهیه شد. حدود ۱۰ میلی‌لیتر از عصاره میوه در یک بشر قرار داده شد و با ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر رقیق شد. تیتراسیون با افزودن تدریجی محلول استاندارد سود سوزآور 0.1 (NaOH) نرمال به محلول عصاره میوه انجام شد. این کار تا زمانی ادامه یافت که محلول به رنگ صورتی کمرنگ تغییر کند، که نشان‌دهنده رسیدن به نقطه پایانی تیتراسیون است. حجم مصرفی NaOH برای رسیدن به این نقطه ثبت شد و اسیدیته قابل تیتراسیون بر اساس آن محاسبه و به صورت معادل اسید سیتریک گزارش شد (Bakhshabadi et al., 2017).

برای اندازه‌گیری ویتامین C (اسید آسکوربیک) در توت‌فرنگی، ابتدا عصاره میوه تهیه شد. سپس، حجم ۱۰ میلی‌لیتر از عصاره با محلول اسید استیک–متافسفریک اسید رقیق شد تا از اکسیداسیون اسید آسکوربیک جلوگیری شود. تیتراسیون با استفاده از محلول استاندارد ۲،۶–دی‌کلروفنل ایندوفنول (DCPIP) انجام شد. محلول DCPIP به آرامی به عصاره میوه اضافه و به هم‌زنی ادامه داده شد تا محلول از رنگ آبی به رنگ صورتی کم‌رنگ تغییر کند. حجم مصرفی DCPIP برای تغییر رنگ ثبت شد و بر اساس آن، میزان ویتامین Cموجود در نمونه به صورت میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم میوه محاسبه و گزارش شد (Ranjbar et al., 2011).

در نهایت داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS9.4 برای تحلیل آماری بررسی شدند و مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون توکی انجام گرفت.

۴– نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس اثرات سطح آبیاری، سطح شوری و نوع آب آبیاری بر پروتئین و کلروفیل توت فرنگی در جدول ۳ آمده است. همچنین مقایسه میانگین اثرات سطح آبیاری، سطح شوری و نوع آب آبیاری بر پروتئین و کلروفیل توت فرنگی در جدول ۴ ارائه شده است.

پروتئین کل

بر اساس نتایج تجزیه واریانس ارایه شده در جدول ۳، اثر سطح آبیاری، سطح شوری و نوع آب آبیاری در سطح احتمال ۱ درصد بر پروتئین کل معنی‌دار شد؛ اثر متقابل سطح آبیاری و سطح شوری و همچنین اثر متقابل سطح شوی و نوع آب آبیاری بر پروتئین کل نیز در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد ($p<0.01$). در بین سطوح مختلف آبیاری، بیشترین مقدار پروتئین کل مربوط به سطح ۱۰۰ درصد آبیاری و برابر ۵/۰۹ میلی‌گرم بر گرم به دست آمد. مقدار پروتئین کل سطوح مختلف آبیاری دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ($p<0.05$) می‌باشند (جدول ۴). مقدار پروتئین کل تیمار ۱۰۰ درصد آبیاری نسبت به تیمارهای ۸۰ و ۶۰ درصد آبیاری به‌ترتیب ۹/۶۲ و ۱۸/۶۶ درصد بیشتر بود. کاهش میزان پروتئین در شرایط کمبود آب می‌تواند به دلیل کاتابولیسم شدید و تجمع پروتئین‌های با وزن مولکولی پایین، شامل اسیدهای آمینه، آمیدها و برخی پپتیدها، باشد.

بر اساس جدول ۴، مقدار پروتئین کل سطوح مختلف شوری در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار دارند. در بین سطوح متفاوت شوری آب آبیاری، بیشترین مقدار پروتئین کل مربوط به تیمار شاهد (آب چاه) و برابر ۵/۱۳ میلی‌گرم بر گرم بود. مقدار پروتئین کل تیمار آب چاه نسبت به تیمارهای ۲۰ و ۴۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به‌ترتیب ۹/۱۶ و ۲۰/۸۵ درصد افزایش نشان داد. پژوهش دولتشاه

و همکاران (۱۳۹۳) نشان داد که تأثیر شوری بر میزان پروتئین‌های محلول در برگ توت‌فرنگی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. با افزایش غلظت کلرید سدیم، مقدار پروتئین‌های محلول در برگ کاهش یافت. همچنین، تفاوت معنی‌داری بین میزان پروتئین در تیمار شاهد و تیمار با غلظت ۷/۵ میلی‌مولار کلرید سدیم مشاهده نشد. یکی از تأثیرات تنش شوری ناشی از نمکNaCl، حذف یون‌های پتاسیم از سلول‌های ریشه است که باعث ایجاد عدم تعادل فیزیولوژیکی در گیاه می‌شود. این موضوع اهمیت دارد زیرا پتاسیم برای سنتز پروتئین ضروری است. علاوه بر این، گیاهان برای بقا در شرایط شوری، پروتئین‌هایی را تجمع می‌دهند که از سلول‌ها در برابر اثرات منفی شوری محافظت می‌کنند (Chen et al., 2007; Wang et al., 2003). Gulen et al. (2006) گزارش کردند که غلظت زیاد نمک کلریدسدیم در محلول غذایی باعث کاهش مقدار کل پروتئین محلول در برگ‌های توت فرنگی می‌شود در حالی که فعالیت پراکسیداز افزایش نشان داد. همچنین با اعمال میدان مغناطیسی، مقدار پروتئین کل در تیمارهای مغناطیسی به طور متوسط ۵/۵۶ درصد نسبت به تیمارهای غیرمغناطیسی افزایش یافت و این افزایش در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. اثر آب مغناطیسی ممکن است به دلیل افزایش رشد ریشه و بهبود هدایت روزنه‌ای باشد که به نوبه خود موجب جذب بیشتر عناصر غذایی شده است (Sadeghipour & Aghaei, 2013). همچنین، Algozari & Yao (2006) گزارش داده‌اند که آب مغناطیسی نفوذ آب به غشای سلولی را افزایش داده و باعث جذب بیشتر آب و عناصر غذایی در سلول‌های ریشه می‌شود.

جدول ۳. تجزیه واریانس اثر فاکتورهای مختلف بر پروتئین و کلروفیل توت فرنگی

منبع تغییرات	درجه آزادی	پروتئین کل	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل
بلوک	۲	۰/۰۰۰۲^{ns}	۰/۰۰۰۲^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۲^{ns}
سطح آبیاری	۲	۴/۰۶**	۲/۲۵**	۰/۵۳**	۴/۹۸**
سطح شوری	۲	۵/۱۹**	۴/۳۳**	۱/۰۷**	۹/۷۴**
نوع آب آبیاری	۱	۰/۷۸**	۰/۱۸**	۰/۰۳**	۰/۳۸**
سطح آبیاری × سطح شوری	۴	۰/۳۶**	۰/۰۳**	۰/۰۰۶**	۰/۰۷۴**
سطح آبیاری × نوع آب آبیاری	۲	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۰۷^{ns}	۰/۰۰۰۲^{ns}	۰/۰۰۰۶^{ns}
سطح شوری × نوع آب آبیاری	۲	۰/۰۰۲**	۰/۰۰۶**	۰/۰۰۰۲^{ns}	۰/۰۰۶۱**
سطح آبیاری × سطح شوری × نوع آب آبیاری	۴	۰/۰۰۰۷^{ns}	۰/۰۰۱*	۰/۰۰۲^{ns}	۰/۰۰۱۳^{ns}
خطا	۳۴	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۸

*، ** و ^{ns} به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد، معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد و عدم وجود اختلاف معنی‌دار

جدول ۴. مقایسه میانگین‌های مقدار پروتئین و کلروفیل توت فرنگی

تیمار آزمایشی	پروتئین کل mg/g	کلروفیل a mg/g	کلروفیل b mg/g	کلروفیل کل mg/g
سطح آبیاری				
I1	۵/۰۹ a	۲/۳۹ a	۱/۰۵ a	۳/۴۴ a
I2	۴/۶۰ b	۱/۸۶ b	۰/۸۰ b	۲/۶۷ b
I3	۴/۱۴ c	۱/۷۲ c	۰/۷۲ c	۲/۴۴ c
سطح شوری				
S1	۵/۱۳ a	۲/۴۹ a	۱/۱۱ a	۳/۶۱ a
S2	۴/۶۶ b	۱/۹۶ b	۰/۸۵ b	۲/۸۱ b
S3	۴/۰۶ c	۱/۵۱ c	۰/۶۲ c	۲/۱۴ c
نوع آب آبیاری				

W1	۴/۴۹ b	۱/۹۳ b	۰/۸۳ b	۲/۷۷ b
W2	۴/۷۴ a	۲/۰۵ a	۰/۸۹ a	۲/۹۴ a

میانگین‌ها با آزمون Tukey در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شده‌اند.

برای هر تیمار آزمایشی تفاوت هر دو میانگین با حداقل یک حرف مشترک معنی‌دار نمی‌باشد.

کلروفیل a

بر اساس نتایج تجزیه واریانس که در جدول ۳ آمده است، اثر سطح آبیاری، سطح شوری و نوع آب آبیاری بر کلروفیل a در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بوده است. همچنین، تاثیر متقابل بین سطح آبیاری و شوری و همچنین بین سطح شوری و نوع آب آبیاری نیز در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شده است ($p<0.01$). با این حال، اثر متقابل بین سطح آبیاری و نوع آب آبیاری معنی‌دار نبود. در میان سطوح مختلف آبیاری، بیشترین مقدار کلروفیل a در سطح ۱۰۰ درصد آبیاری مشاهده شد که مقدار آن برابر با ۲/۳۹ میلی‌گرم بر گرم بود. اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بین مقادیر کلروفیل a در سطوح مختلف آبیاری وجود داشت (جدول ۴). میزان کلروفیل a در تیمارهای ۸۰ و ۶۰ درصد آبیاری نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد به‌ترتیب ۲۲/۱۷ و ۲۸/۰۳ درصد کاهش یافت. عرب طاژان‌دره و همکاران (۱۳۹۴) گزارش کردند که بین کلروفیل a و b و عملکرد میوه ارتباط معنی‌داری وجود دارد.

همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، مقادیر کلروفیل a در سطوح مختلف شوری نیز در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری نشان می‌دهد. بیشترین مقدار کلروفیل a در میان سطوح مختلف شوری آب آبیاری، مربوط به تیمار آب چاه با مقدار ۲/۴۹ میلی‌گرم بر گرم بود. میزان کلروفیل a در تیمارهای ۲۰ و ۴۰ میلی‌مولار کلرید سدیم نسبت به تیمار آب چاه به ترتیب ۲۱/۲۸ و ۳۹/۳۵ درصد کاهش یافت. بر اساس گزارش Garcı´a-Valenzuela et al. (2005)، میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل تحت تأثیر تنش اسمزی می‌توانند تا ۶ روز پس از شروع تنش به دلیل توسعه کلروپلاست‌ها و افزایش تعداد تیلاکوئیدها افزایش یابند. نتایج مشابهی نیز توسط Oraki et al. (2012) برای افزایش میزان کلروفیل‌ها تحت تنش ملایم در آفتاب‌گردان گزارش شده است. خدامرادی و همکاران (۱۳۹۷) نشان دادند که با افزایش شوری، میزان کلروفیل a کاهش یافت. بیشترین مقدار کلروفیل a (۲/۲۷ میلی‌گرم در گرم وزن تر) مربوط به تیمار شاهد و کمترین آن (۱/۳۴ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در تیمار ۴۰ میلی‌مولار شوری بود. تیمارهای با آب مغناطیسی شده به‌طور متوسط ۶/۲۱ درصد افزایش معنی‌دار (سطح احتمال ۵ درصد) در مقدار کلروفیل a نسبت به تیمارهای بدون آب مغناطیسی داشتند.

کلروفیل b

نتایج تجزیه واریانس جدول ۳ نشان می‌دهد که اثر سطح آبیاری، سطح شوری و نوع آب آبیاری در سطح احتمال ۱ درصد بر کلروفیل b معنی‌دار شد؛ اثر متقابل سطح آبیاری و شوری بر کلروفیل b نیز در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد؛ ولی سایر اثرات متقابل معنی‌دار نشد. در بین سطوح مختلف آبیاری، بیشترین مقدار کلروفیل b مربوط به سطح آبیاری ۱۰۰ درصد و برابر ۱/۰۵ میلی‌گرم بر گرم به دست آمد. مقدار کلروفیل b سطوح مختلف آبیاری دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند (جدول ۴). مقدار کلروفیل b سطوح آبیاری ۸۰ و ۶۰ درصد نسبت به سطح آبیاری ۱۰۰ درصد به‌ترتیب ۲۳/۸۱ و ۳۱/۴۲ درصد کاهش یافت. دارابی و همکاران (۱۳۹۰) گزارش کردند که در شرایط تنش خشکی علاوه بر تجزیه کلروفیل‌های موجود، تشکیل کلروفیل‌های جدید نیز با مشکل مواجه می‌شود. به‌طوری که گلوتامات پیش ماده مشترک سنتز کلروفیل و پرولین بوده و در شرایط تنش خشکی، واکنش به سمت تولید پرولین پیش رفته و از سنتز رنگدانه کلروفیل ممانعت می‌گردد.

مقدار کلروفیل b سطوح مختلف شوری در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار نشان دادند. در بین سطوح مختلف شوری آب آبیاری، بیشترین مقدار کلروفیل b در تیمار آب چاه و برابر ۱/۱۱ میلی‌گرم بر گرم به‌دست آمد. مقدار کلروفیل b تیمارهای ۲۰ و ۴۰ میلی‌مولار کلرید سدیم نسبت به تیمار آب چاه به‌ترتیب ۲۳/۴۲ و ۴۴/۱۴ درصد کاهش نشان داد. خدامرادی و همکاران (۱۳۹۷) نشان

دادند که با افزایش شوری، میزان کلروفیل b نیز کاهش یافت. بیشترین مقدار کلروفیل b (۱/۳۸ میلی‌گرم در گرم وزن تر) مربوط به تیمار شاهد و کمترین آن (۰/۹۸ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در تیمار ۴۰ میلی‌مولار شوری بود. بیشترین و کمترین مقدار کلروفیل کل با مقادیر ۳/۶۹ و ۲/۲۳ میلی‌گرم در گرم وزن تر به‌ترتیب مربوط به تیمار شاهد و شوری ۴۰ میلی‌مولار بود. دولتشاه و همکاران (۱۳۹۳) نشان دادند که شوری اثر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد بر میزان کلروفیل کل، a و b داشت و با افزایش میزان شوری در محلول غذایی، مقدار هر سه شاخص مذکور کاهش یافت. کاهش میزان کلروفیل کل، a و b در تیمار ۴۵ میلی مولار نسبت به تیمار شاهد به‌ترتیب ۴۲/۴، ۴۷/۲ و ۲۵/۶ درصد بود. Karlidag et al. (2011) روی توت فرنگی نیز به نتایج مشابهی دست یافتند. مقدار کلروفیل b تیمارهای آب مغناطیسی شده به طور متوسط ۷/۲۲ درصد افزایش معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد نسبت به تیمارهای غیرمغناطیسی داشت.

کلروفیل کل

نتایج تجزیه واریانس ارائه شده در جدول ۳ نشان می‌دهد که سطح آبیاری، شوری و نوع آب آبیاری بر میزان کلروفیل کل در سطح احتمال ۱ درصد تاثیر معنی‌داری دارند. همچنین، اثر متقابل بین سطح آبیاری و شوری و سطح شوری و نوع آب آبیاری نیز در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بوده است، اما سایر اثرات متقابل معنی‌داری نشان ندادند. در میان سطوح مختلف آبیاری، بیشترین مقدار کلروفیل کل در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد مشاهده شد که برابر با ۳/۴۴ میلی‌گرم بر گرم بود. اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بین مقادیر کلروفیل کل در سطوح مختلف آبیاری وجود داشت (جدول ۴). مقدار کلروفیل کل در سطوح آبیاری ۸۰ و ۶۰ درصد به‌ترتیب ۲۲/۳۸ و ۲۹/۰۷ درصد نسبت به سطح آبیاری ۱۰۰ درصد کاهش یافت. اسدی اقدم و همکاران (۱۳۹۲) در بررسی اثر تنش موضعی خشکی در ناحیه ریشه توت‌فرنگی رقم سلوا، گزارش کردند که با افزایش شدت تنش، شاخص کلروفیل و سطح برگ کاهش یافت. تحت شرایط تنش خشکی، مقدار رادیکال‌های آزاد اکسیژن افزایش یافته و آنزیم‌های کلروفیلاز و برخی از ترکیبات فنولی فعال و باعث تجزیه رنگدانه کلروفیل می‌شوند (Ahmadi & Siosehmardeh, 2004).

علاوه بر این، میزان کلروفیل کل در سطوح مختلف شوری نیز در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری نشان داد. بیشترین مقدار کلروفیل کل در میان تیمارهای شوری، مربوط به تیمار آب چاه بود که مقدار آن ۳/۶۱ میلی‌گرم بر گرم اندازه‌گیری شد. مقادیر کلروفیل کل در تیمارهای ۲۰ و ۴۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به به‌ترتیب ۲۲/۱۶ و ۴۰/۷۲ درصد کمتر از تیمار آب چاه بود. Seyed lor et al. (2009) نشان دادند که میزان کلروفیل برگ با افزایش غلظت کلرید سدیم کاهش یافت، اما این تأثیر از نظر آماری معنی‌دار نبود. مکانیسم کاهش کلروفیل در شرایط تنش شوری ممکن است به تغییر در متابولیسم نیتروژن مرتبط باشد. نیتروژن یکی از عناصر کلیدی در ساختار کلروفیل است و در شرایط تنش شوری، به جای استفاده در تولید کلروفیل، ممکن است برای ساخت ترکیباتی مانند پرولین که در تنظیم اسمزی نقش دارند، مورد استفاده قرار گیرد (Rosa-Ibara et al., 1995). Zhao et al. (2007) بیان کردند که کاهش میزان کلروفیل در شرایط تنش شوری می‌تواند به دلیل افزایش تخریب این رنگدانه‌ها، کاهش تولید آنها، و همچنین ایجاد اختلال در فعالیت آنزیم‌های مسئول سنتز رنگدانه‌های فتوسنتزی باشد.

استفاده از آب مغناطیسی به طور متوسط ۶/۱۳ درصد افزایش معنی‌داری در کلروفیل کل نسبت به تیمارهای غیرمغناطیسی در سطح احتمال ۵ درصد ایجاد کرد. آب مغناطیسی می‌تواند باعث افزایش نفوذپذیری آب به داخل سلول‌ها و بهبود کارایی جذب مواد مغذی در شرایط تنش آبی شود. این اثرات در شرایط کم‌آبیاری (زمانی که گیاه با محدودیت دسترسی به آب مواجه است) برجسته‌تر می‌شود، زیرا آب مغناطیسی می‌تواند به کاهش استرس گیاه کمک کند و تحمل آن را نسبت به شرایط کم‌آبیاری افزایش دهد. در مقابل، در شرایط آبیاری کامل، که گیاه به میزان کافی آب دریافت می‌کند، اثرات مثبت آب مغناطیسی کمتر قابل توجه است، زیرا گیاه در این شرایط با تنش آبی مواجه نیست و نیاز کمتری به کمک‌های اضافی برای جذب آب و مواد مغذی دارد. بنابراین، تاثیر آب مغناطیسی در بهبود شرایط رشد گیاه بیشتر در تیمارهای کم‌آبیاری مشهود است.

مواد جامد محلول کل

نتایج تجزیه واریانس در جدول ۵ نشان می‌دهد که سطح آبیاری، شوری و نوع آب آبیاری به طور قابل توجهی بر میزان مواد جامد محلول کل تأثیر می‌گذارند، به‌طوری‌که این تاثیرات در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بوده‌اند. علاوه بر این، تمامی اثرات متقابل نیز در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بوده‌اند. در بین سطوح مختلف آبیاری، سطح ۶۰ درصد آبیاری بیشترین مقدار مواد جامد محلول کل را با ۱۳/۶۷ درصد به خود اختصاص داده است. اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بین مقادیر مواد جامد محلول کل در سطوح مختلف آبیاری مشاهده شد (جدول ۴). در مقایسه با سطح آبیاری ۱۰۰ درصد، میزان مواد جامد محلول کل در سطوح آبیاری ۸۰ و ۶۰ درصد به‌ترتیب ۱۴/۲ و ۲۲/۹۳ درصد افزایش یافته است. اسدی اقدم و همکاران (۱۳۹۲) نشان دادند که روش خشکی قسمتی از منطقه ریشه، افزایش معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر مقدار مواد جامد محلول میوه در بین تیمارهای مختلف دارد. در شرایط تنش خشکی، افزایش غلظت مواد محلول به گیاهان اجازه می‌دهد تا با حفظ آماس برگ و میوه، در شرایط پتانسیل آب کم، به رشد خود ادامه دهند. از دلایل افزایش غلظت مواد محلول میوه می‌توان به افزایش کربوهیدرات میوه و کاهش مقدار آب میوه‌ها در این شرایط اشاره نمود (Haghighi, 2010). همچنین Gine-Bordonaba & Terry (2016) نیز نشان دادند که افزایش تنش خشکی تا سطح ۴۰ درصد باعث افزایش مواد جامد محلول شد. مشابه این نتایج، افزایش مواد جامد محلول تحت تأثیر تنش خشکی در طالبی (Ahmadi Mirabad et al., 2013) و گوجه‌فرنگی (Nuruddin et al., 2003) نیز گزارش شده است. به‌طور کلی، افزایش مواد جامد محلول در گیاه توت‌فرنگی تحت تأثیر تنش خشکی، به‌عنوان مکانیزمی برای تنظیم اسمزی و افزایش تحمل گیاه در برابر تنش عمل می‌کند.

تفاوت معنی‌داری در میزان مواد جامد محلول کل در سطوح مختلف شوری در سطح احتمال ۵ درصد مشاهده شد. بیشترین میزان مواد جامد محلول کل در تیمار ۴۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به دست آمد که برابر با ۱۳/۸۲ درصد بود. مقادیر مواد جامد محلول کل در تیمارهای ۲۰ و ۴۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به ترتیب ۱۱/۵۲ و ۲۳/۵ درصد بیشتر از تیمار آب چاه بود. برخی محققین نیز گزارش کردند که محیط کشت دارای مقدار هدایت الکتریکی زیاد، به شکل معنی‌داری مواد جامد محلول را افزایش داد (ایزدیار و همکاران، ۱۳۹۳؛ Tavusi et al., 2010). نتایج پژوهش یوسفی و همکاران (۱۳۹۰) نیز نشان داد که تأثیر شوری در بخش‌هایی از سیستم ریشه‌ای بر میزان مواد جامد محلول در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. بیشترین میزان مواد جامد محلول در تیمار با شوری ۹۰ میلی‌مولار در هر دو بخش ریشه مشاهده شد، در حالی که تیمار شاهد کمترین میزان مواد جامد محلول را نشان داد و تفاوت معنی‌داری با تیمار ۳۰ میلی‌مولار داشت. De Pascale et al. (2009) گزارش کردند که افزایش پتاسیم در محلول غذایی، میزان مواد جامد محلول و در نتیجه طعم و کیفیت میوه را افزایش می‌دهد.

جدول ۵. تجزیه واریانس اثر فاکتورهای مختلف بر خصوصیات کیفی توت فرنگی

منبع تغییرات	درجه آزادی	مواد جامد محلول کل	اسیدیته قابل تیتراسیون	ویتامین C	درصد قند
بلوک	۲	۰/۰۰۰۲^{ns}	۰/۰۰۰۴^{ns}	۰/۰۰۱۸^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}
سطح آبیاری	۲	۲۹/۷۰**	۰/۰۱۴**	۱۵/۶۶**	۲۰/۰۶**
سطح شوری	۲	۳۱/۳۲**	۰/۰۲۲**	۲۹/۹۴**	۳۶/۸۲**
نوع آب آبیاری	۱	۵/۷۳**	۰/۰۳۵**	۷۰/۹۷**	۱۰۰/۰۷**
سطح آبیاری × سطح شوری	۴	۰/۱۰۹**	۰/۰۰۲**	۷/۶۰۹**	۱۰/۰۸**
سطح آبیاری × نوع آب آبیاری	۲	۰/۱۳۵**	۰/۰۰۰۲*	۰/۶۲۸**	۰/۸۹۳**
سطح شوری × نوع آب آبیاری	۲	۰/۰۲۴**	۰/۰۰۰۲^{ns}	۰/۳۲۸**	۰/۴۲۷**
سطح آبیاری × سطح شوری × نوع آب آبیاری	۴	۰/۰۰۳**	۰/۰۰۰۰۹^{ns}	۰/۰۰۹**	۰/۰۱۱**
خطا	۳۴	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۰۷	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۱

استفاده از آب مغناطیسی به طور میانگین باعث افزایش ۵/۳۴ درصدی مواد جامد محلول کل نسبت به تیمارهای غیرمغناطیسی شده است، که این افزایش نیز در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. استفاده از آب مغناطیسی می‌تواند باعث افزایش مواد جامد محلول در توت فرنگی شود. این اثر به دلیل بهبود جذب مواد مغذی و تغییرات در متابولیسم گیاه رخ می‌دهد. آب مغناطیسی ممکن است باعث افزایش فعالیت آنزیم‌ها و بهبود فرایندهای فیزیولوژیکی در گیاه شود که به نوبه خود می‌تواند منجر به افزایش غلظت مواد محلول مانند قندها و اسیدهای آلی در میوه شود.

جدول ۶. مقایسه میانگین‌های خصوصیات کیفی توت فرنگی

تیمار آزمایشی	مواد جامد محلول کل %	اسیدیته قابل تیتراسیون %	ویتامین C mg/100g	درصد قند mg/g
سطح آبیاری				
I1	۱۱/۱۲ c	۰/۶۲ c	۲۹/۳۱ c	۳۴/۳۹ c
I2	۱۲/۷۰ b	۰/۶۶ b	۳۰/۲۹ b	۳۵/۵۹ b
I3	۱۳/۶۷ a	۰/۶۷ a	۳۱/۱۷ a	۳۶/۴۹ a
سطح شوری				
S1	۱۱/۱۹ c	۰/۶۲ c	۲۹/۱۰ c	۳۴/۲۱ c
S2	۱۲/۴۸ b	۰/۶۴ b	۳۰/۰۱ b	۳۵/۲۳ b
S3	۱۳/۸۲ a	۰/۶۹ a	۳۱/۶۵ a	۳۷/۰۴ a
نوع آب آبیاری				
W1	۱۲/۱۷ b	۰/۶۲ b	۲۹/۱۱ b	۳۴/۱۳ b
W2	۱۲/۸۲ a	۰/۶۸ a	۳۱/۴۰ a	۳۶/۸۵ a

میانگین‌ها با آزمون Tukey در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شده‌اند.

برای هر تیمار آزمایشی تفاوت هر دو میانگین با حداقل یک حرف مشترک معنی‌دار نمی‌باشد.

اسیدیته قابل تیتراسیون

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۵) مشخص است که سطح آبیاری، شوری و نوع آب آبیاری اثر معنی‌داری بر میزان اسیدیته قابل تیتراسیون در سطح احتمال ۱ درصد دارند. اثر متقابل سطح آبیاری و شوری و اثر متقابل سطح آبیاری و نوع آب آبیاری به‌ترتیب در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد معنی‌دار شد. بیشترین مقدار اسیدیته قابل تیتراسیون در بین سطوح مختلف آبیاری مربوط به سطح ۶۰ درصد آبیاری به میزان ۰/۶۷ درصد بود. این داده‌ها اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بین مقادیر اسیدیته قابل تیتراسیون در سطوح مختلف آبیاری نشان می‌دهند (جدول ۶). مقایسه بین سطوح آبیاری نشان داد که اسیدیته قابل تیتراسیون در سطوح آبیاری ۸۰ و ۶۰ درصد به‌ترتیب ۶/۴۵ و ۸/۰۶ درصد بیشتر از سطح آبیاری ۱۰۰ درصد بوده است. افزایش اسیدیته قابل تیتراسیون به بهبود طعم میوه کمک می‌کند و بر این اساس، آبیاری کمتر باعث خوش‌طعم‌تر شدن میوه می‌شود (Davies & Hobson, 1981). تحقیقات مشابهی توسط Sezen *et al.* (2010) و Tuzel *et al.* (2001) نیز نشان داده‌اند که با کاهش دفعات آبیاری، میزان اسیدیته قابل تیتراسیون عصاره میوه افزایش می‌یابد. تجمع اسیدهای کربوکسیلیک در سلول به عنوان روشی برای مقابله با کمبود آب و تنظیم فشار اسمزی عمل می‌کند و به همین دلیل، کاهش آبیاری منجر به افزایش اسیدیته قابل تیتراسیون می‌شود. قاسمی و همکارن (۱۳۹۷) بیان کردند که تجزیه واریانس pH آب میوه نشان داد که تنش خشکی با احتمال ۱ درصد تأثیر معنی‌داری بر pH آب میوه داشت.

ویراستاری نشده

میزان اسیدیته قابل تیتراسیون بین سطوح مختلف شوری نیز در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد. بیشترین میزان اسیدیته قابل تیتراسیون مربوط به تیمار ۴۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و برابر با ۰/۶۹ درصد بود. این مقدار در تیمارهای ۲۰ و ۴۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به‌ترتیب ۳/۲۲ و ۱۱/۲۹ درصد بیشتر از تیمار آب چاه بود. Seyed lor et al. (2009) نیز گزارش کردند که با افزایش کلرید سدیم، اسیدیته قابل تیتراسیون افزایش یافت. همچنین Hepaksoy et al. (2006) نشان دادند که شوری باعث افزایش اسیدیته قابل تیتراسیون در انگور می‌شود. شوری به طور قابل توجهی بر اسیدیته قابل تیتراسیون میوه‌ها تأثیر می‌گذارد و نقشی اساسی در طعم میوه‌ها ایفا می‌کند. بر اساس نتایج پژوهش یوسفی و همکاران (۱۳۹۰)، اسیدیته قابل تیتراسیون میوه‌ها تحت تأثیر تیمارهای مختلف شوری در سطح احتمال ۵ درصد به‌طور معنی‌داری تغییر کرد. Keutgen & Keutgen (2003) گزارش کردند که شوری کلرید سدیم در دو رقم توت‌فرنگی السانتا و کورونا باعث کاهش اسیدیته قابل تیتراسیون میوه‌ها شد، در حالی که محتوای ویتامین C نسبت به ماده خشک میوه‌ها نسبتا ثابت باقی ماند. Petersen et al. (1998) اثر شوری بر اسیدیته قابل تیتراسیون میوه را از طریق افزایش فعالیت یونی در ناحیه ریشه که بیشتر حاوی سدیم بود، توصیف کردند. همچنین Tabatabaei et al. (2004) نشان دادند که استفاده از محلول‌های غذایی با EC های متفاوت در سیستم ریشه‌ای گوجه‌فرنگی باعث افزایش اسیدیته قابل تیتراسیون و EC میوه نسبت به شرایط بدون شوری شده و منجر به بهبود طعم میوه گردید.

استفاده از آب مغناطیسی به‌طور میانگین موجب افزایش ۹/۶۷ درصدی اسیدیته قابل تیتراسیون نسبت به تیمارهای غیرمغناطیسی شد، که این افزایش نیز در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). اثر مثبت آب مغناطیسی در تیمارهای با تنش شوری بیشتر از تیمارهای بدون تنش شوری مشاهده می‌شود. در شرایط تنش شوری، گیاهان با چالش‌هایی مانند افزایش فشار اسمزی و تجمع یون‌های نمک در خاک مواجه هستند که می‌تواند باعث کاهش جذب آب و مواد مغذی شود. آب مغناطیسی با تغییر ساختار مولکولی آب، می‌تواند به بهبود جذب آب و کاهش اثرات منفی نمک‌ها کمک کند. این اثرات در شرایط تنش شوری برجسته‌تر می‌شوند، زیرا گیاه به کمک بیشتری برای مقابله با اثرات منفی شوری نیاز دارد. در مقابل، در شرایط بدون تنش شوری که گیاه با شرایط مطلوب‌تری مواجه است، اثرات مثبت آب مغناطیسی کمتر محسوس است. بنابراین، تاثیر آب مغناطیسی در بهبود شرایط رشد گیاه بیشتر در شرایط تنش شوری مشهود است.

ویتامین C

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۵)، مشخص شد که سطح آبیاری، شوری و نوع آب آبیاری تاثیر معنی‌داری بر میزان ویتامین Cدر سطح احتمال ۱ درصد داشته‌اند. همچنین، تمامی اثرات متقابل نیز در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد. بیشترین مقدار ویتامین Cدر شرایط آبیاری ۶۰ درصد با مقدار ۳۱/۱۷ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم مشاهده شد. این داده‌ها نشان می‌دهند که اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بین مقادیر ویتامین C در سطوح مختلف آبیاری وجود دارد (جدول ۶). مقایسه بین سطوح آبیاری نشان داد که میزان ویتامین C در شرایط آبیاری ۸۰ و ۶۰ درصد به‌ترتیب ۳/۳۴ و ۶/۳۴ درصد بیشتر از شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد بوده است. در پژوهشی صالحی و همکاران (۱۳۹۲) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند. آن‌ها گزارش کردند که از دست دادن میزان آب در میوه‌ها باعث افزایش ویتامین C می‌شود. آقایی فرد و همکاران (۱۳۹۳) نشان دادند که افزایش زمان رسیدگی میوه بر اثر کم آبیاری، کاهش معنی‌داری بر میزان ویتامین ث و همچنین ظرفیت آنتی‌اکسیدان‌ها در میوه توت‌فرنگی داشت. شاه‌محمدی و همکاران (۱۳۹۹) اظهار داشتند که بین عملکرد میوه و شاخص کمی و کیفی میوه به ویژه شاخص طعم و ویتامین C ارتباط مثبت و معنی‌داری وجود دارد.

اختلاف معنی‌داری در میزان ویتامین C بین سطوح مختلف شوری در سطح احتمال ۵ درصد مشاهده شد. بیشترین میزان ویتامین C در تیمار ۴۰ میلی‌مولار کلرید سدیم با مقدار ۳۱/۶۵ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم به دست آمد. این مقدار در تیمارهای ۲۰ و ۴۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به‌ترتیب ۳/۱۲ و ۸/۷۶ درصد نسبت به تیمار آب چاه افزایش نشان داد. سیدی مرغکی و همکاران (۱۳۹۲) نشان دادند که افزایش پتاسیم تا سه میلی‌اکی‌والان در لیتر در محلول غذایی باعث افزایش ویتامین C میوه توت فرنگی رقم سیلوا شد. Keutgen &

Pawelzik (2008) بررسی کردند که غلظت زیاد کلرید سدیم به میزان ۴۰ و ۸۰ میلی مول بر لیتر، آسکوربیک اسید و همچنین اسیدهای آمینه آزاد شامل پرولین و گلوتامین را افزایش داد. علاوه بر این، آب مغناطیسی به‌طور میانگین، افزایش ۷/۸۶ درصدی ویتامین C نسبت به تیمارهای غیرمغناطیسی داشت و در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۶).

درصد قند

بر اساس نتایج تجزیه واریانس که در جدول ۵ آمده است، اثر سطح آبیاری، شوری و نوع آب آبیاری تاثیر معنی‌داری بر میزان درصد قند در سطح احتمال ۱ درصد داشته‌اند. تمامی اثرات متقابل نیز در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد. در میان سطوح مختلف آبیاری، بیشترین درصد قند در سطح ۶۰ درصد آبیاری مشاهده شد که مقدار آن برابر با ۳۶/۴۹ میلی‌گرم بر گرم بود. اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بین مقادیر درصد قند در سطوح مختلف آبیاری وجود داشت (جدول ۶). میزان درصد قند در تیمارهای ۸۰ و ۶۰ درصد آبیاری نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد به‌ترتیب ۳/۴۹ و ۶/۱ درصد افزایش یافت. شاهنظری و رضائیان (۱۳۹۴) نشان دادند که در مقایسه میانگین صفات کیفی میوه، قند کل و آنتوسیانین بین تمامی تیمارها اختلاف معنی‌داری وجود داشت؛ به‌طوری که بیشترین مقادیر این صفات در تیمار کم‌آبیاری تنظیم شده و کمترین مقادیر در تیمار آبیاری کامل مشاهده شد.

همان‌طور که در جدول ۶ مشاهده می‌شود، مقادیر درصد قند در سطوح مختلف شوری نیز در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری نشان می‌دهد. بیشترین مقدار درصد قند در میان سطوح مختلف شوری آب آبیاری، مربوط به تیمار ۴۰ میلی‌مولار کلرید سدیم با مقدار ۳۷/۰۴ میلی‌گرم بر گرم بود. میزان درصد قند در تیمارهای ۲۰ و ۴۰ میلی‌مولار کلرید سدیم نسبت به تیمار آب چاه به ترتیب ۲/۹۸ و ۸/۲۷ درصد افزایش یافت. نتایج پژوهش خدامرادی و همکاران (۱۳۹۷) نشان داد که تنش شوری باعث افزایش میزان قندهای محلول می‌شود، که این افزایش با شدت بیشتر تنش شوری افزایش می‌یابد. در شرایط تنش شوری، کربوهیدرات‌ها نقش مهمی در تنظیم و حفظ تعادل اسمزی، ذخیره‌سازی کربن، و خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد ایفا می‌کنند (Parida &Das, 2005). قندهای محلول به عنوان عوامل محافظت‌کننده اسمزی در تنظیم اسمزی سلول‌ها نقش دارند و در پاسخ به تنش‌های محیطی تجمع می‌یابند. بنابراین، ممکن است در شرایط تنش شوری، افزایش سنتز قندهای محلول به عنوان مکانیسمی برای کاهش پتانسیل آب سلولی و حفظ محتوای آب گیاه عمل کند. تیمارهای با آب مغناطیسی شده به‌طور متوسط ۷/۹۷ درصد افزایش معنی‌دار (سطح احتمال ۵ درصد) در مقدار درصد قند نسبت به تیمارهای بدون آب مغناطیسی داشتند.

در پایان باید نکته مهمی بیان شود؛ اینکه تاثیر دستگاه به عوامل مختلفی بستگی دارد و باید شرایطی مانند کیفیت اولیه آب، نوع دستگاه، شدت اعمال شده، مدت ماندگاری، نوع خاک و غیره فراهم باشد. در مورد اثرگذاری آب مغناطیسی بر آب و به دنبال آن اثر بر خاک، ترکیب نمک‌های محلول و شدت میدان مغناطیسی نقش مهمی دارد که در نهایت بر اثرگذاری مغناطیس بر آب و به دنبال آن بر خاک موثر است. مدت ماندگاری اثرات ایجاد شده بر آب توسط دستگاه مغناطیسی بسته به نوع شرکت سازنده از ۲۴ تا ۷۲ ساعت است که در طی این مدت در هر مرحله آبیاری باعث بهبود خصوصیات کمی و کیفی شده که در نهایت اثر مثبت بر عملکرد محصول دارد که هدف نهایی کشاورزان می‌باشد (Khoshravesh & Kiani, 2022; Khoshravesh & Pourgholam-Amiji, 2024).

۵- نتیجه‌گیری

با توجه به کمبود آب‌های با کیفیت مناسب برای استفاده در بخش کشاورزی، استفاده از آب‌های نامتعارف ضروری است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که سطح آبیاری، شوری و نوع آب آبیاری تاثیرات قابل‌توجهی بر خصوصیات کیفی میوه توت فرنگی داشته‌اند. بررسی‌ها نشان داد که آبیاری ۱۰۰ درصد منجر به بیشترین مقدار پروتئین کل، کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل شد، در حالی که کاهش آبیاری به ۸۰ و ۶۰ درصد موجب کاهش این مقادیر گردید. از سوی دیگر، تیمار شوری با کلرید سدیم باعث کاهش مقادیر پروتئین کل، کلروفیل a ، کلروفیل b و کلروفیل کل شد. خصوصیات کیفی دیگر شامل مواد جامد محلول کل، اسیدیته قابل تیتراسیون،

ویتامین C و درصد قند با کاهش مقدار سطح آبیاری و افزایش شوری آب آبیاری افزایش معنی‌داری را نشان دادند. همچنین، استفاده از آب مغناطیسی موجب افزایش قابل‌توجهی در خصوصیات کیفی میوه توت فرنگی شد. این نتایج اهمیت تنظیم سطح آبیاری و مدیریت شوری را در بهبود خصوصیات فیزیولوژیکی گیاهان برجسته می‌سازد و همچنین نشان می‌دهد که استفاده از آب مغناطیسی می‌تواند به عنوان یک روش نوین و موثر برای بهبود عملکرد گیاهان مورد توجه قرار گیرد. در مجموع، این پژوهش تایید می‌کند که مدیریت بهینه‌ی آبیاری و شوری، همراه با استفاده از فن‌آوری‌های نوین مانند آب مغناطیسی، می‌تواند به طور موثر در افزایش کیفیت محصولات کشاورزی و جذابیت آن‌ها در بازار نقش داشته باشد. در صورت مواجهه با شرایط تنش آبی، توصیه می‌شود از این روش برای کاهش حداقلی افت کمی و ارتقای کیفیت میوه‌ها استفاده شود.

سپاس‌گزاری

نویسندگان این مقاله از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری بابت تأمین هزینه‌های طرح پژوهشی با کد قرارداد ۰۸-۱۴۰۲-۰۲ کمال تشکر را دارند.

منابع

اسدی اقدم، امید.، طباطبایی، سید جلال.، و حاجی‌لو، جعفر. (۱۳۹۲). تأثیر خشکی قسمتی از منطقه ریشه بر ویژگی های کمی و کیفی توت فرنگی رقم سلوا. تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی، ۳(۸)، ۸۱-۷۳.

آقایی فرد، فاطمه.، بابالار، مصباح.، و احمدی، احمد. (۱۳۹۳). تأثیر محلول پاشی برگی سالیسیلیک اسید بر خصوصیات کیفی میوه توت فرنگی رقم کاماروسا (Fragaria x annanasa cv. Camarosa). علوم باغبانی ایران، ۴۵(۴)، ۳۳۴-۳۲۵.

ایزدیار، سید عبدالحمید.، صادقی، حسین.، و بهمنیار، محمدعلی. (۱۳۹۳). تأثیر محیط کشت و سرمادهی بر ویژگی های کمی و کیفی سه رقم توت‌فرنگی. علوم باغبانی ایران، ۴۵(۲)، ۲۲۳-۲۱۷.

خدامرادی، پیام.، امیری، جعفر.، و دولتی، بهنام. (۱۳۹۷). تأثیر اسید هیومیک بر فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و متابولیت‌های سازگار در توت‌فرنگی رقم سابرینا در شرایط تنش شوری. پژوهش های میوه‌کاری، ۳(۱)، ۳۵-۲۳.

دارابی، مرضیه.، دشتی، فرشاد.، غلامی، منصور.، مصدقی، محمدرضا.، و میرفتاح، سید مهدی. (۱۳۹۰). اثر تنش خشکی بر عملکرد و برخی ویژگی‌های مورفولوژی و فیزیولوژی تره ایرانی (Allium ampeloperasum Tareh group). علوم باغبانی ایران، ۴۲(۱)، ۱۰۳-۹۵.

دولتشاه، مظفر.، رضایی‌نژاد، عبدالحسین.، و غلامی، منصور. (۱۳۹۳). اثر تنش شوری بر عملکرد و برخی ویژگی‌های فیزیکی و بیوشیمیایی توت‌فرنگی رقم "کاماروزا". فناوری تولیدات گیاهی، ۶(۲)، ۱۳۸-۱۲۷.

سیدی مرغکی، اعظم.، عبادی، علی.، و بابالار، مصباح. (۱۳۹۲). بررسی اثر سطوح پتاسیم محلول غذایی، تراکم کاشت و فصل برداشت بر کیفیت و کمیت میوهٔ توت‌فرنگی رقم‌سلوا در سیستم کشت هیدروپونیک. علوم باغبانی ایران، ۴۴(۴)، ۴۲۹-۴۲۳.

شاه‌محمدی، مجید.، آرمینیان، علی.، محمدخانی، عبدالرحمان.، و عزیزیان، امیر. (۱۳۹۹). ارزیابی صفات کمی و کیفی در برخی از ژنوتیپ های توت‌فرنگی با راهکار PLS-PM. پژوهش‌های تولید گیاهی، ۲۷(۱)، ۲۶۲-۲۴۳.

شاهنظری، علی.، و رضائیان، محسن. (۱۳۹۴). تأثیر کم‌آبیاری تنظیم‌شده و کم‌آبیاری ناقص ریشه بر خصوصیات کمی و کیفی توت‌فرنگی. آب و خاک، ۲۹(۴)، ۸۲۷-۸۲۰.

صالحی، سارا.، بابالار، مصباح.، تقوی، تکتم سادات.، و عسکری سرچشمه، محمدعلی. (۱۳۹۲). اثر تیمار مه پاشی اسید سالیسیلیک بر رشد، عملکرد و صفات کیفی توت فرنگی رقم کاماروسا. علوم باغبانی ایران، ۴۴(۳)، ۳۵۷-۳۴۹.

طالب‌زاده، زهرا.، مهدی‌زاده، حسین.، اجتهادی، حمید.، و ابریشم‌چی، پروانه. (۱۳۸۸). بررسی آستانه تحمل شوری دو رقم گوجه‌فرنگی، اکوفیزیولوژی گیاهی، ۱(۱)، ۷۶-۶۴.

ویراستاری نشده

عرب طاژان‌دره، اسماعیل.، رضایی‌نژاد، عبدالحسین.، اسماعیلی، احمد.، کرمی.، فرهاد، و قرقانی.، علی. (۱۳۹۴). بررسی همبستگی و روابط علیت ویژگی‌های فیزیولوژیکی و فنولوژیکی و گروه‌بندی ژنوتیپ‌های توت‌فرنگی (Fragaria × ananassa Duch.). فیزیولوژی و بیوشیمی گیاهی ایران، ۱(۱)، ۵۰-۳۹.

قادری، ناصر.، و سی وسه مرده، عادل. (۱۳۹۲). بررسی اثر تنش خشکی بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی در سه رقم توت‌فرنگی. علوم باغبانی ایران، ۴۴(۲)، ۱۳۶-۱۲۹.

قاسمی، ح.، امیری فهلیانی، رضا.، کاووسی، ب.، و دهداری، مسعود. (۱۳۹۷). واکنش برخی ارقام توت‌فرنگی (Fragaria×ananssa Duch.) به کم‌آبیاری از نظر سطح برگ و برخی ویژگی‌های کمی و کیفی میوه. روابط خاک و گیاه، ۹(۱)، ۳۹-۲۵.

قدمی فیروزآبادی، علی.، خوش‌روش، مجتبی.، شیرازی، پویا.، و زارع ابیانه، حمید. (۱۳۹۵). اثر آبیاری با آب مغناطیسی بر عملکرد دانه و بیوماس گیاه سویا رقم DPX در شرایط کم‌آبیاری و شوری آب. پژوهش آب در کشاورزی، ۳۰(۱)، ۱۴۳-۱۳۱.

یوسفی، مهری.، طباطبایی، سید جلال.، حاجیلو، جعفر.، و مهنا، ناصر. (۱۳۹۰). اثر تنش شوری کلرید سدیم در بخشی از سیستم ریشه بر عملکرد، کمیت و کیفیت میوه توت‌فرنگی. دانش کشاورزی و تولید پایدار، ۲۱(۱)، ۱۴۴-۱۳۵.

REFERENCES

Aghaee Fard, F., Babalar, M., & Ahmadi, A. (2014). The effect of salicylic acid foliar spraying on qualitative characters of strawberry fruit (*Fragaria x ananassa* cv. Camarosa). *Iranian Journal of Horticultural Science*, 45(4), 325-334. (In Persian).

Ahmadi Mirabad, A., Lotfi, M., & Rouzban, M. R. (2013). Effect of water deficit stress on growth, yield and sugar percentage of melon (*Cucumis melo* L.). *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 5(22), 2778-2782.

Ahmadi, A., & Siosehmardeh, A. (2004). Effect of drought stress on soluble carbohydrate, chlorophyll and proline in four wheat cultivars adapted to different climates of Iran. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 35(3), 753-763.

Ahmed, M. E. M., & EL-Kader, N. I. A. B. D. (2016). The influence of magnetic water and water regimes on soil salinity, growth, yield and tubers quality of potato plants. *Middle East Journal of Agriculture Research*, 5(2), 132-143.

Algozari, H., & Yao, A. (2006). Effect of the magnetizing of water and fertilizers on some chemical parameters of soil and growth of maize. *MS.c. Thesis. University of Baghdad*, Baghdad, Iraq.

Al-Khazan, M., Mohamed Abdullatif, B., & AlAssaf, N. (2011). Effects of magnetically treated water on water status, chlorophyll pigments and some elements content of Jojoba (Simmondsia chinensis L.) at different growth stages. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 5(9), 722-731.

Arab-Tazhan-Dareh, A., Ismaili, A., Rezaei-Nezhad, A., Karami, F., & Gharghani, A. (2016). nvestigation of orrelation and causality relationships of physiological and phenological characteristics and grouping of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch) genotypes. *Plant Journal of Physiology and Biology*, 1(1), 39-50. (In Persian).

Asadi Aghdam, O., Tabatabaei, S. J., & Hajilou, J. (2013). Effect of partial root zone drying on quantitative and qualitative characteristics of strawberry (*Fragaria Ananassa* Cv. Selva). *Journal of Crop Production and Processing*, 3(8), 73-81. (In Persian).

Bakhshabadi, H., Mirzaei, H., Ghodsvali, A., Jafari, S.M., Ziaiifar, A.M., & Bigbabaie, A. (2017). Optimizing the Eextraction process of oil from black cumin seeds by using pulsed electric field (PEF) Pretreatment. *Journal of Research and Innovation in Food Science and Technology*, *6*(3), 221-231.

Bradford, M.M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation and microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Annual Review of Biochemistry*, 72, 248-254.

Chen, Z., Cuin, T. A., Zhou, M., Twomey, A., Naidu, B. P., & Shabala, S. (2007). Compatible solute accumulation and stress-mitigating effects in barley genotypes contrasting in their salt tolerance. *Journal of Experimental botany*, 58(15-16), 4245-4255.

Darabi, M., Dashti, F., Gholami, M., Mosaddeghi, M. R., & Mirfattah, S. M. (2011). Effect of drought stress on yield and morphological and physiological characteristics of *Allium ampeloperasum*. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 42(2), 95-103. (In Persian).

Davies, J., & Hobson, G. (1981). The constituents of tomato fruit – the influence of environment, nutrition and genotype. *Critical Rev. in Food Science and Nutrition*, 15, 205-281. DOI: 10.1080/10408398109527317

De Pascale, S., Orsini, F., Vallone, S. & Barbieri, G. (2009). Crop season effects on yield and quality of hydroponically grown *Brassica rapa var.sylvestris. Acta Horticulturae*, 807, 427-432.
Dolatshah, M., Rezaeinejad, A., & Gholami, M. (2014). The effect of salinity stress on yield and some physical and biochemical characteristics of the strawberry cultivar "Camarosa". Plant Production Technology, 14(2): 127-138. (In Persian).
Garcı´a-Valenzuela, X., Garcı´a-Moya, E., Rascon-Cruz, Q., Herrera-Estrella, L. & Aguado-Santacruz, G. A. (2005). Chlorophyll accumulation is enhanced by osmotic stress in graminaceous chlorophyllic cells. *Journal of Plant Physiology*, 162, 650-661.
Ghadami Firouzabadi, A., Khoshravesh, M., Shirazi, P., & Zare Abyaneh, H. (2016). Effect of irrigation with magnetized water on the yield and biomass of soybean var. DPX under water deficit and salinity stress. *Water Research in Agriculture*, 30(1), 131-143. (In Persian).
Ghasemi, H., Amiri Fahliani, R., Kavousi, B., & Dehdari, M. (2018). The response of some strawberry cultivars (*Fragaria×ananssa* Duch.) to a lack of water in terms of leaf area and some quantitative and qualitative characteristics of the fruit. *Journal of Soil and Plant Interactions*, 9(1): 25-38. Doi: 10.29252/ejgcst.9.1.25. (In Persian).
Giné Bordonaba J., & Terry, L. A. (2010). Manipulating the taste-related composition of strawberry fruits (*Fragaria x ananassa*) from different cultivars using deficit irrigation. *Food Chemistry*, 122, 1020-1026.
Gine-Bordonaba, J., & Terry, L. A. (2016). Effect of deficit irrigation and methyl jasmonate application on the composition of strawberry (*Fragaria×ananassa*) fruit and leaves. *Scientia Horticulturae*, 199, 63-70.
Gulen, H. E., Turhan, E. & Eris, A. (2006). Changes in peroxidase activities and soluble proteins in strawberry varieties under salt stress. *Acta Physiologia Plantarum*, 28(2), 109-116.
Haghighi, M. (2010). Effect of partial root zone drying on water relation, growth, yield and some quantitative characteristics of tomato. *Iranian Journal of Greenhouse Culture Science*, 12(2), 26-31. (In Farsi).
Hendry, G. A. F., & Price, A. H. (1993). Stress indicators: chlorophylls and carotenoids. In: Hendry, G.A.F., & J.P. Grime. (Eds.), Methods in Comparative Plant Ecology, Chapman and Hall, London.
Hepaksoy, S., Ben-Asher, J., de Malach, Y., David, I., Sagih, M., & Bravdo, B. (2006). Grapevine irrigation with saline water: Effect of rootstocks on quality and yield of cabernet sauvignon. *Journal of Plant Nutrition*, 29, 783-795.
Izadyar, S. A., Sadeghi, H., & Bahmanyar, M. A. (2014). Effect of substrates and chilling requirement n quantitative and qualitative attributes of three strawberries cultivars. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 45(2), 217-223. Doi: 10.22059/ijhs.2014.51963. (In Persian).
Karlidag, H., Yildirim, E., & Turan, M. (2011). Role of 24-epibrassinolide in mitigating the adverse effects of salt stress on stomatal conductance, membrane permeability, and leaf water content, ionic composition in salt stressed strawberry (*Fragaria×ananassa*). *Scientia Horticulturae*, 130, 133-140.
Kaya, C., Kirnak, H., Higgs, D., & Saltali, K. (2002). Supplementary calcium enhances plant growth at fruit yield in strawberry cultivars grown at high (NaCl) salinity. *Scientia Horticulturae*, 93, 65-74.
Keutgen, A. & Pawelzik, E. (2008). Contribution of amino acids to strawberry fruit quality and their relevance as stress indicators under NaCl salinity. *Food Chemistry*, 111, 642-647.
Keutgen, A. J., & Keutgen, N. (2003). Influence of NaCl salinity stress on fruit quality in strawberry. *Acta Horticulture*, 609, 155-157.
Khodamoradi, P., Amiri, J., & Dovlati, B. (2018). Influence of humic acid on some antioxidant enzymes activity and compatible metabolites in strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch. cv. Sabrina) under salinity stress. *Pomology Research*, 2(2), 109-135. (In Persian).
Khoshravesh, M., & Kiani, A.R. (2022). *Magnetized Water Technology, Principles and Applications*. Sari Agricultural and Natural Resources University Press, 136 pp.
Khoshravesh, M., & Pourgholam-Amiji, M. (2024). The effect of irrigation with magnetized wastewater on soil heavy metals, water productivity and heavy metals in aerial parts and grains of maize. *Applied Water Science, 14*(8), 182.
Miller, N. J., & Rice-Evans, C. A. (1997). The relative contributions of ascorbic acid and phenolic antioxidants to the total antioxidant activity of orange and apple fruit juices and black current drink. *Food Chemistry*, 60(4), 331-337.
Nuruddin, M. M., Madramootoo, A. C., & Dodds, G. T. (2003). Effects of water sterres at different growth stages on greenhouse tomato yield and quality. *Horticultural Science*, 38(7), 1389-1393.
Oraki, H., Prhizkar-Khanjani, F., & Aghaalikhana, M. (2012). Effect of water deficit stress on proline contents, soluble sugars, chlorophyll and grain yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids. *African Journal of Biotechnology*, 11(1), 164-168.

Oszmianski, J., & Wojdylo, A. (2009). Comparative study of phenolic content and antioxidant activity of strawberry puree, clear, and cloudy juices. *European Food Research and Technology*, 228(4), 623–631.
Parida, A. K., & Das, A. B. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 60, 324-349.
Petersen, K. K., Willumsen, J., & Kaack. K. (1998). Composition and taste of tomatoes as affected by increased salinity and different salinity sources. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 73, 205-215.
Pirlak, L., & Eşitken, A. (2004). Salinity effects on growth, proline and ion accumulation in strawberry plants. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil and Plant Science*, 54 (3), 189-192.
Pourgholam-Amiji, M., Khoshravesh, M., Divband Hafshejani, L., & Ghadami Firouzabadi, A. (2022). The effect of irrigation with treated magnetic effluent on water productivity of maize. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, *16*(1), 243-253.
Raeini-Sarjaz, M., & Chalavi, V. (2011). Effects of water stress and constitutive expression of a drought induced chitinase gene on water use efficiency and carbon isotope composition of strawberry. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 84, 90-94.
Ranjbar, R., Eshghi, S., & Rostami, M. (2011). The effect of foliar application of nickel sulfate and urea on reproductive growth and quantitative and qualitative characteristics of strawberry (Fragaria ananassa Duch. cv. Pajaro). *Soil and Plant Relations*, 2(7), 41-48.
Rawson, H. M., Iong, M. J., & Munns, R. (1988). Growth and development in NaCl treated plants. *Journal of Plant Physiology*, 15, 519-527.
Rosa-Ibara, M. D. L., & Maiti, R. K. (1995). Biochemical mechanism in glossy sorghum lines for resistance to salinity stress. *Journal of Plant Physiology*, 146, 515-519.
Sadeghipour, O., & Aghaei, P. (2013). Improving the growth of cowpea (*Vigna unguiculata L. Walp.*) by magnetized water. Journal of Biodiversity and Environmental Sciences, 3(1), 37-43.
Salehi, S., Babalar, M., Taghavi, T. S., & Askari Cheshmeh, M. A. (2014). Effect of Salicylic Acid Spray on Growth, Yield & Quality Attributes of Strawberry cv. Camarosa in Hydroponic Culture. Iranian Journal of Horticultural Science, 44(3), 349-357. Doi: 10.22059/ijhs.2013.36005. (In Persian).
Seyed lor, L., Tabatabaei, S. J., & Fallahi, E. (2009). The effect of silicon on the growth and yield of strawberry grown under saline conditions. *Horticultural Science*, 23(1), 88-95. Doi: https://doi.org/10.22067/jhorts4.v1388i1.1915.
Seyedi Morghakai, A., Ebadi, A., & Babalar, M. (2014). Effect of potassium levels in nutrient solution, harvest season, and plant density on quantity and quality of strawberry fruit (Cv. Selva) in hydroponic system conditions. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 44(4), 423-429. Doi: 10.22059/ijhs.2013.50366. (In Persian).
Sezen, M. S., Gulendam, C., Yazar, A., Tekin, S., & Kapur, B. (2010). Effect of irrigation management on yield and quality of tomatoes grown in different soilless media in a glasshouse. S. R. E. A. J. 5(1): 041-048, Available online at http://www.academicjournals.org/SRE
Shahmohammadi, M., Arminian, A., MohammadKhani, A., & Azizian, A. (2020). Evaluating the quantitative and qualitative characteristics of some strawberry genotypes using PLS-PM approach. Journal of Plant Production Research, 27(1), 243-262. (In Persian).
Shahnazari, A., & Rezaiyan, M. (2015). Effect of regulated deficit irrigation (RDI) and partial root zone drying (PRD) on quantitative and qualitative traits of strawberry. *Water and Soil*, 29(4), 820-827. Doi. https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.23836. (In Persian).
Tabatabaei, S. J., Gregory, P. J., & Hadley. P. (2004). Distribution of nutrients in the root zone affects yield, quality and blossom end rot of tomato fruits. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 79, 158-163.
Talebzadeh, Z., Mahdizadeh, H., Ejtehadi, H., & Abrishamchi, P. (2009). Investigation of salt tolerance threshold in two tomato cultivars. *Plant Ecophysiology*, 1(1), 64-78. (In Persian).
Tavusi, M., & ShahinRokhsar, P. (2010). The effect of four subestrates on yield and some parameters on the performance strawberries grown in soilless culture. *Journal of Agricultural Sciences*, 13, 83-94.
Tuzel, I. H., Tuzel, Y., Gul, A., Altunlu, H., & Eltez, R. Z. (2001). Effect of different irrigation schedules, substrate and substrate volume on fruit quality and yield of greenhouse tomato. *Acta Horticulture*, 548: 285-291.
Wang, W., Vinocur, B., & Altman, A. (2003). Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: toward genetic engineering for stress tolerance. *Planta*, 218(1), 1-14.
Yusefi, M., Tabatabaei, S. J., Hajilu, J., & Mahna, N. (2011). The effect of partial root salinization on the yield and fruit quality in strawberry. Agricultural Science and Sustainable Production, 21(1), 135-144. (In Persian).
Yusuf, K. O., & AO, O. (2017). Effect of magnetic treatment of water on evapotranspiration of tomato.Arid Zone *Journal of Engineering, Technology and Environment*, 13(1), 86-96.

Zhao, G. Q., Ma, B. L., & Reh, C. Z. (2007). Growth, gas exchange, chlorophyll fluorescence and ion content of naked oat in response to salinity. *Journal of Crop Science*, 4, 123-131.

ویراستاری نشده

The impact of magnetized water under combined drought and salinity stress conditions on the qualitative performance of strawberries

EXTEND ABSTRACT

Introduction

Given the increasing population and the growing demand for food, agricultural development is essential. Due to the limited water resources, effective water resource management in agriculture is of great

importance and must be considered at all stages of agricultural production. On the other hand, water resource limitations pose a challenge to agricultural development, necessitating a strong focus on the optimal use of available water resources, including unconventional waters. Magnetized water is one of the methods used to improve water and soil quality.

Materials and Methods

The experiment was conducted in a factorial design within a randomized complete block design with three replications. The irrigation factor was tested at three levels (100% FI (I1), 80% FI (I2), and 60% FI (I3)), and water salinity at three levels (well water (S1), 20 mM sodium chloride (S2), and 40 mM sodium chloride (S3)) in two conditions: non-magnetized (W1) and magnetized (W2) water. This study examined the effects of irrigation levels, salinity, and the type of irrigation water on the qualitative properties of strawberry fruit, including total protein, chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, total soluble solids, titratable acidity, vitamin C, and sugar content.

Results and Discussion

The analysis of variance results showed that all factors had a significant impact on the qualitative properties of strawberry fruit at the 1% probability level. Among the different irrigation levels, the highest amounts of total protein, chlorophyll a, chlorophyll b, and total chlorophyll were 5.09, 2.39, 1.05, and 3.44 mg per gram, respectively, in the 100% irrigation treatment. Among the different salinity levels, these values were 5.13, 2.49, 1.11, and 3.61 mg per gram, respectively, in the well water treatment. Furthermore, the highest levels of total soluble solids, titratable acidity, vitamin C, and sugar content were 13.67%, 0.67%, 31.17 mg per 100 grams, and 36.49 mg per gram, respectively, in the 60% irrigation treatment. Among the different salinity levels, these values were 13.82%, 0.69%, 31.65 mg per 100 grams, and 37.04 mg per gram, respectively, in the 40 mM sodium chloride treatment. Magnetized water also had a significant effect at the 1% probability level on the qualitative properties of strawberry fruit.

Conclusion

Overall, the increase in electrical conductivity in the nutrient solution led to reduced water uptake and thus decreased its osmotic potential, resulting in lower product quality. Finally, due to the observed positive effects on qualitative properties, it is recommended to use this method for producing high-quality products with greater nutritional value in cultivation systems. Additionally, to reduce the negative effects of salinity on plants, a combination of magnetized water and regulated irrigation levels is suggested. This combination may help mitigate the negative effects of salinity while simultaneously enhancing water productivity in agriculture.

Keywords: Combined stress, Deficit irrigation, Protein, Sodium chloride, Vitamin C.

Author Contributions

M.K: Conceptualization, Methodology, Supervision, Formal Analysis and Investigation, Final Review, Funding Acquisition. **M.P.A**: Data Preparation and Review, Software, Resources, Results Interpretation, Writing-Original Draft Preparation, Visualization, Project Administration. **R.N.V**: Results Interpretation, Review and Editing, Final report review. **H.Y**: Investigation, Data Curation, Validation, Writing—Review.

"All authors have read and agreed to the published version of the manuscript."

Data Availability Statement

The datasets generated and/or analysed during the current study are not publicly available due [REASON WHY DATA ARE NOT PUBLIC] but are available from the corresponding author on reasonable request. The datasets are not publicly accessible because this article was extracted from a research project. Because this work is still ongoing, the data cannot be released to the public.

Acknowledgements

This study was supported by funding from Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (Grant No.: 02-1402-08). Therefore, the authors of the article would like to thank for their great cooperation and for providing the relevant laboratories. Also, the authors would like to thank all participants of the present study.

Ethical considerations

The author declares that there is no conflict of interest regarding the publication of this manuscript. In addition, the ethical issues, including plagiarism, informed consent, misconduct, data fabrication and/or falsification, double publication and/or submission, and redundancies have been completely observed by the author.

ویراستاری نشده