نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۶، جلد ۱۴، بهمن - اسفند ۱۳۹۹، ص. ۲۰۳۶-۲۰۲۵

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 6, Vol. 14, Feb.-Mar. 2021, p. 2025-2036

مقاله پژوهشی

تأثیر آبیاری ناحیه‌ای ریشه و آب مغناطیس بر خصوصیات رشدی گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) در شرایط گلخانه

سیما صالحی تیزآبی[۱]، مرتضی گلدانی[۲*]، جعفر نباتی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۶/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۷/۲۶

چکیده

یکی از راهکارهای افزایش کیفیت آب آبیاری، مغناطیس کردن آن می‌باشد. پژوهشی در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۹۸-۱۳۹۷ به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه روش آبیاری (آبیاری متداول، آبیاری ناحیه‌ای ریشه به‌طور ثابت و آبیاری ناحیه‌ای ریشه به‌طور متغیر) و سه سطح آب مغناطیس (آب معمولی، آب مغناطیس شده یک بار گذر با شدت ۰/۳۶۷ تسلا و ۰/۶۳۳ تسلا) با چهار تکرار انجام شد. نتایج نشان داد که در روش آبیاری متداول و آب مغناطیس شده با شدت ۰/۳۶۷ تسلا بیشترین ارتفاع بوته (۱۱۰ cm)، وزن خشک اندام هوایی (۴۱/۹$g.plant^{-1}$)، وزن خشک ریشه (۱۷/۴$g.plant^{-1}$) و حجم ریشه (۱۳۷$cm^3.plant^{-1}$) به‌دست آمد. در روش آبیاری متداول و آب مغناطیس شده با شدت ۰/۶۳۳ تسلا بیش‌ترین سطح برگ (۲۵/۴$cm^2.plant^{-1}$)، وزن کل میوه (۵۰۸g)، لیکوپن (۴۸/۶$mg.gfw^{-1}$)مشاهده شد. در روش آبیاری ناحیه‌ای ریشه به‌طور ثابت و آب مغناطیس شده با شدت۰/۳۶۷ تسلا بیشترین غلظت کلروفیل b (۰/۴۸۹$mg.gfw^{-1}$) و وزن تک میوه (۴۸/۰ g) و در شدت۰/۶۳۳ تسلا بیشترین درصد ماده خشک میوه (۱۱/۱) مشاهده شد. بیشترین میزان کارایی مصرف آب زیست‌توده کل (۳۶/۶g/liter) در روش آبیاری ناحیه‌ای ریشه به‌طور ثابت و آب شاهد مشاهده گردید. در روش آبیاری ناحیه‌ای ریشه به‌طور متغیر و آب مغناطیس شده با شدت۰/۳۶۷ تسلا بیشترین نسبت برگ به ساقه (۱/۳۷$g.plant^{-1}$)، نسبت اندام هوایی به اندام زیرزمینی (۳/۱۴$g.plant^{-1}$) و طول ریشه (۵۳/۲cm) مشاهده گردید. بیشترین میزان محتوی رطوبت نسبی آب برگ در روش آبیاری ناحیه‌ای ریشه به‌طور متغیر و آب مغناطیس شده با شدت۰/۶۳۳ تسلا مشاهده شد. به‌طور کلی روش آبیاری ناحیه‌ای ریشه به‌طور ثابت نسبت به روش آبیاری ناحیه‌ای ریشه به‌طور متغیر وزن کل میوه در هر بوته و کارایی مصرف آب زیست توده بالاتری داشت و هر دو شدت ۰/۳۶۷ و ۰/۶۳۳ تسلا آب مغناطیس توانست منجر به بهبود صفات مذکور گردد و اثرات ناشی از تنش خشکی را کاهش دهد که استفاده از این روش سالم ،آسان و بی خطر برای محیط زیست توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: تسلا، روش‌های آبیاری، کارایی مصرف آب، لیکوپن، محتوی رطوبت نسبی آب برگ

مقدمه

خشکی جزئی منطقه ریشه (PRD[۴])یا (آبیاری ناحیه‌ای ریشه) یک روش آبیاری است که نصف ریشه در معرض خشکی قرار می‌گیرد در حالی‌که نیمه باقی‌مانده به‌طور کامل آبیاری می‌شود. در این روش فقط قسمتی از ریزوسفر ریشه با درصدی از آب آبیاری به روش معمول، آبیاری می‌شود و به‌طور متناوب پس از اینکه قسمت باقی‌مانده ریشه به مقدار مشخصی از رطوبت رسید تناوب آبیاری عوض می‌شود (Zegbe et al., 2006). ناحیه‌ای از سیستم ریشه که در معرض خشک شدن قرار می‌گیرد با ارسال پیام‌هایی به اندام‌های هوایی باعث بسته شدن روزنه‌ها می‌شود. آبیاری ناحیه‌ای ریشه، با موفقیت در تعداد زیادی از محصولات زراعی و در سیستم‌های مختلف تولید استفاده شده است. تعدادی از پژوهش‌ها با PRD نشان داد که اصلی‌ترین مزیت آبیاری PRD کاهش مصرف آب برای آبیاری است (Sepaskhah and Ahmadi, 2012). آبیاری ناحیه‌ای ریشه در گوجه‌فرنگی باعث صرفه‌جویی در مصرف آب شده است و به تولیدکنندگان این امکان را می‌دهد که از ۲۵ تا ۵۰ درصد آب کم‌تری استفاده کنند بدون اینکه کاهش قابل توجهی در عملکرد داشته باشند (Wang et al., 2010). روش آبیاری ناحیه‌ای ریشه باعث افزایش عملکرد در محصولات پنبه

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه اگروتکنولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲- دانشیار گروه اگروتکنولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد
۳- استادیار گروه پژوهشی بقولات پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: goldani@um.ac.ir)
DOR: 20.1001.1.20087942.2021.14.6.27.8
4- Partial root-zone drying

(*Gossypium herbaceum*)، گندم (*Triticum aestivum* L)، نیشکر (*Saccharum officinarum*)، سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum*) شد (Thind et al., 2010؛ Slatni et al., 2011؛ شینی دشتگل و همکاران، ۱۳۸۸). مطابق با تحقیقات انجام شده یکی از روش‌هایی که باعث بهبود کمیت و کیفیت محصول می‌شود آبیاری با آب مغناطیس شده است (نایب لویی و همکاران،۱۳۹۰). محققان بیان کرده‌اند که اثر میدان مغناطیسی روی آب منجر به تغییراتی در ساختار یون هیدراته و همچنین خواص فیزیکی و شیمیایی و رفتار نمک‌های معدنی محلول و تغییر در رسوب مواد شیمیایی می‌شود (Mosin and Ignatov, 2014). همچنین آب پس از عبور از یک میدان مغناطیسی می‌تواند خواص خود را تا مدتی حفظ کند به اصطلاح آب دارای حافظه می‌باشد (Chibowski and Szcze, 2018). آبیاری با آب مغناطیس شده یکی از با ارزش‌ترین فناوری‌های پیشرفته است که باعث صرفه‌جویی در مصرف آب و افزایش کیفیت و عملکرد گیاهان می‌شود (Hozayn et al., 2013). همچنین با تغییر در خواص مولکول‌های آب منجر به کاهش تنش سطحی، کاهش گرانروی، افزایش قابلیت انحلال پذیری، افزایش نفوذپذیری و بهبود اکسیژن نیز می‌شود از این رو عناصر معدنی را به آسانی در دسترس گیاهان قرار می‌دهد (Khalil et al., 2016). کاربرد تکنولوژی میدان مغناطیسی در کشاورزی یک روش غیر مرسوم، سالم، اقتصادی و محیط‌زیستی محسوب می‌شود که منجر به بهبود مشخصات آب و خاک شده و در نهایت باعث بهبود رشد، عملکرد و بهره‌وری آب می‌شود (Hozayn et al., 2013). بررسی شدت‌های مختلف میدان مغناطیسی بر عملکرد گیاه تربچه(*Raphanus sativus*) نشان داد که آب مغناطیس شده تأثیر مثبتی بر عملکرد گیاه داشته و بیشترین تأثیر نیز مربوط به شدت میدان مغناطیسی ۰/۶۳۳ تسلا بود (متانت و همکاران، ۱۳۹۷). استفاده از آب مغناطیس شده می‌تواند نقش موثری در انواع شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه گوجه‌فرنگی داشته باشد (رستگار و صادقی، ۱۳۹۴). همچنین بررسی اثر آب مغناطیسی و تنش شوری بر خصوصیات جوانه‌زنی لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) نشان داد که قرار گرفتن آب آبیاری با تیمارهای شوری در معرض میدان مغناطیسی می‌تواند اثرات منفی شوری را بر شاخص‌های جوانه‌زنی کاهش دهد و نقش مهمی در بهبود جوانه‌زنی و تسریع رشد گیاهچه لوبیا ایفا کند (گلدانی و همکاران، ۱۳۹۵). با توجه به موارد فوق هدف از این مطالعه بررسی برهم‌کنش روش‌های آبیاری ناحیه‌ای مختلف و سطوح مختلف آب مغناطیس بر صفات کمی و کیفی گوجه‌فرنگی و یافتن راهکاری برای تولید بهتر کمی و کیفی محصول گوجه‌فرنگی با مصرف آب کمتر در شرایط گلخانه بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۱۳۹۷ به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. سه تیمار روش آبیاری شامل (آبیاری متداول، آبیاری ناحیه‌ای ریشه به‌طور ثابت (یک طرف گلدان به‌طور ثابت آبیاری می‌شد) و آبیاری ناحیه‌ای ریشه به‌طور متغیر (یک نوبت یک طرف گلدان آبیاری انجام می‌گرفت در مرحله بعد آبیاری طرف دیگر گلدان آبیاری می‌شد) بود. سه سطح آب مغناطیس شامل (آب معمولی، آب مغناطیس شده یک بار گذر با شدت ۰/۳۶۷ و ۰/۶۳۳ تسلا) بود. ابتدا بذرها در سینی‌های نشا با بستر کوکوپیت، پرلیت کشت شدند۳۰ روز بعد زمانی که گیاهچه‌ها به ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر رسیدند به گلدان‌هایی با ابعاد ۲۳*۲۱ حاوی بستر شن، ماسه، خاک باغچه و کود حیوانی به نسبت ۲/۱:۱:۱:۱ بود منتقل شدند، میزان عناصر خاک قبل از کاشت و ویژگی‌های آب آبیاری تعیین شد (جدول ۱ و ۲) و بنابر نتایج آزمایش میزان کود مورد نیاز به خاک اضافه شد، که در ابتدا ازکودهای حاوی فسفر بیشتر برای توسعه و تثبیت بهتر ریشه استفاده شد سپس در طی فصل رشد ازکودهای ریز مغذی عناصر ماکرو و میکرو و اسید هیومیک استفاده شد.

جدول ۱- برخی خصوصیات شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش

بافت خاک	سیلت	شن	رس	ماده آلی (٪)	pH	EC(dS.m^{-1})	N (%)	P(mg.kg^{-1})	K(mg.kg^{-1})
Loamy sand	۱۳/۳۷	۸۲/۴۰	۴/۲۳	۱/۲۱	۸/۸۰	۰/۸۱۷	۰/۰۶۳	۱۳/۷	۱۸۵

جدول ۲- برخی خصوصیات شیمیایی آب استفاده شده در آزمایش

SO4	HCO3	pH	EC(dS.m^{-1})	Mg	Ca (meq/L)	K	Na	Cl
۲/۷۵	۷/۸۳	۷/۹۴	۱/۲	۲/۹۱	۴/۴۲	۰/۶۲۱	۴/۱۲	۲/۴۳

گلدان‌ها توسط ورق‌های پلی‌کربنات به دو قسمت مجزا تقسیم شد تا آبیاری ناحیه‌ای و خشک کردن جزئی ریشه به‌طور ثابت و متغیر اعمال شود. در هنگام انتقال نشاء به گلدان ریشه گیاه نیز به دو قسمت تقسیم شد و در گلدان‌های مذکور کشت صورت گرفت. حدود

۱۰ روز بعد و پس از استقرار کامل گیاه تیمارها اعمال شد، در تمام طول دوره رشد شرایط یکسان برای همه تیمارها فراهم شد و عملیات داشت شامل مبارزه با آفات و امراض و کودهی به‌طور یکسان صورت گرفت. به منظور تعیین نیاز آبی گیاه به وسیلهٔ تشتک تبخیر مستقر در گلخانه و از طریق فرمول (۱) محاسبه شد.

$$ET_C=k_c\ k_p\ E_{pan} \quad (۱)$$

در این معادله K_C ضریب گیاهی گوجه‌فرنگی، K_P، ضریب تشتک تبخیر E_P، تبخیر از سطح تشتک بود Blanco and (Folegatit., 2003). برای تعیین زمان آبیاری رطوبت حجمی در ظرفیت زراعی (FC) و تخلیه مجاز رطوبتی (MAD) گوجه فرنگی محاسبه شد. در ادامه با دستگاه رطوبت‌سنج (TDR[1]) میزان رطوبت خاک در همه گلدان‌ها مورد بررسی قرار گرفت و هنگامی که به حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی (۵۰ درصد ازکل رطوبت قابل دسترس گیاه در ناحیه ریشه) رسید آبیاری انجام شد (علیزاده و همکاران، ۱۳۸۴). برای تهیه آب مغناطیسی از سیستمی با قابلیت چرخشی و شدت میدان مغناطیسی مختلف که در دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد با شماره ثبت اختراع ۲۰۴۷۷ بود استفاده شد. مقدار آب مورد نیاز با دستگاه مغناطیس کننده در دو شدت ۰/۳۶۷ و۰/۶۳۳ تسلا و شدت جریان عبوری آب ۵۰ هرتز مغناطیسی شده و براساس نیاز آبی گیاه گلدان‌ها آبیاری گردید. در مراحل مختلف رشد مراقبت‌های زراعی برای همه تیمارها به‌طور یکنواخت اعمال شد.در انتهای فصل رشد و پس از رسیدگی فیزیولوژیک پس از اعمال تیمارهای آبیاری رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی با استفاده از روش (Dere, et al., 1998). اندازه‌گیری شد. برای این منظور از ۱۰۰ میلی‌گرم برگ جوان کاملاً توسعه‌یافته استفاده شد و رنگ‌دانه‌ها با استفاده از اتانول ۹۶ درصد استخراج شد. میزان جذب در طول‌موج ۶۴۸ و ۶۶۴ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر انجام شد. بر اساس معادله (۲) و (۳) غلظت کلروفیل a , b محاسبه گردید (Porra., 2002).

$$Chla = ۱۳/۳۶\times A\ ۶۶۴ - ۵/۱۹\times A۶۴۸ \quad (۲)$$

$$Chlb = ۲۷/۴۳\times A۶۴۸ - ۸/۱۲\times A۶۶۴ \quad (۳)$$

برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ (RWC) از جوان‌ترین برگ کاملاً توسعه یافته، نمونه‌هایی تهیه و توزین شد و وزن تر آن‌ها ثبت شد. این نمونه‌ها به مدت یک شب در آب مقطر در دمای چهار درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. پس از حذف رطوبت سطحی، وزن آماس آن‌ها توسط ترازوی دیجیتالی ثبت شد. سپس نمونه‌های برگ به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند و وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری شد. در نهایت مقدار نسبی آب برگ از طریق معادله شماره (۴) محاسبه شد (Paknejad et al., 2007).

$$RWC\ (\%) = F_w - D_w / S_w - D_w \times 100 \quad (۴)$$

در این معادله F_w، وزن‌تر برگ بلافاصله بعد از نمونه‌برداری، D_w، وزن خشک برگ بعد از قرار گرفتن در آون، S_w، وزن اشباع برگ بعد از قرار گرفتن در آب مقطر (تورژسانس) بود.در انتهای فصل رشد ارتفاع بوته اندازه‌گیری شد. برای محاسبه سطح برگ از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (Delta T) استفاده شد.در انتهای آزمایش بوته‌های گوجه‌فرنگی از هر گلدان خارج و وزن‌تر و خشک اندام هوایی و اندام زیرزمینی، تعداد میوه در بوته، وزن تک میوه با ترازوی دیجیتالی و حجم ریشه با روش ارشمیدس و طول ریشه توسط خط کش در هر گلدان اندازه‌گیری شد. عملکرد میوه هر گلدان از ابتدا تا انتهای دوره رشد اندازه‌گیری شد. درصد ماده خشک میوه پس از برش میوه و قرارگیری به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد تعیین شد. مقدار لیکوپن میوه توسط روش Barba et al., (2006) در طول‌موج ۵۰۳ نانومتر تعیین شد. کارایی مصرف آب آبیاری با استفاده از معادله (۵) محاسبه شد (Payero et al., 2009).

$$WUE=Y/I \quad (۵)$$

در این معادله WUE، کارایی مصرف آب زیست‌توده کل برحسب کیلوگرم محصول در لیتر آب مصرفی، Y عملکرد محصول برحسب کیلوگرم I، حجم آب آبیاری در طول فصل رشد برحسب لیتر بود. به طور کل میزان آب مصرفی در کل دوره رشدی گیاه گوجه‌فرنگی برای روش آبیاری متداول ۲۲/۱۲۵ لیتر و برای روش آبیاری ناحیه‌ای ریشه به‌طور ثابت و متغیر ۱۱/۶۲۵ لیتر بود.

تجزیه و تحلیل داده‌ها و مقایسه میانگین‌ها توسط نرم‌افزار Minitab 17 انجام شد. مقایسه میانگین با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

نتایج نشان داد که ارتفاع بوته تحت تأثیر معنی‌دار اثر متقابل روش‌های مختلف آبیاری و شدت‌های مختلف آب مغناطیس شده قرار گرفت (جدول ۳). بیش‌ترین وکم‌ترین ارتفاع بوته به ترتیب در روش آبیاری متداول و آب مغناطیسی شده با شدت ۰/۳۶۷ تسلا و روش آبیاری ناحیه‌ای ریشه به‌طور ثابت و آب مغناطیسی شده با شدت ۰/۶۳۳ تسلا مشاهده شد (جدول ۴). نتایج نشان دادکه استفاده از آب مغناطیس شده با شدت ۰/۳۶۷ تسلا در روش آبیاری متداول و روش آبیاری ناحیه‌ای ریشه به‌طور ثابت منجر به افزایش ۱۸ و ۸ ٪ ارتفاع بوته گردید اما در روش آبیاری ناحیه‌ای ریشه به‌طور متغیر ارتفاع بوته کاهش ۱۲٪ نشان داد که نشان دهنده این بود که گیاه نسبت به دو روش آبیاری دیگر بیشتر تحت تنش بوده است (جدول ۴). مقایسه میانگین ارتفاع بوته در بین سطوح مختلف آب مغناطیس نشان داد که شدت ۰/۳۶۷ تسلا منجر به افزایش ارتفاع بوته بیشتری نسبت به

1- Time-Domain Reflectometry

شدت ۰/۶۳۳ تسلا شده است (جدول ۴). با توجه به جدول موجود ارتفاع بوته در روش آبیاری ناحیه‌ای ریشه به‌طور ثابت و متغیر و در مقایسه بین آب شاهد نسبت به آب مغناطیس شده۰/۶۳۳ تسلا چون گیاه با تنش خشکی مواجه بود ارتفاع بوته کاهش یافت و آب مغناطیس شده نتوانست اثرات تنش خشکی را کاهش و بهبود دهد (جدول ۴). گیاه برای زنده ماندن در هنگام مواجهه با تنش، مواد غذایی و انرژی را به جای استفاده در جهت رشد، به مکانیسم‌های نگهداری کننده در مقابل تنش منتقل می‌کند. به همین دلیل رشد کم یکی از مکانسیم‌های گیاه برای زنده ماندن در شرایط تنش می‌باشد (Khalid, 2006).

جدول ۳- منابع تغییر، درجه آزادی و سطح احتمال اثر روش‌های مختلف آبیاری ناحیه‌ای ریشه و سطوح مختلف آب مغناطیس بر صفات کمی گیاه گوجه‌فرنگی

اثر تیمارها	درجه آزادی (df)	ارتفاع بوته	سطح برگ	محتوی نسبی آب برگ	کلروفیل a	کلروفیل b	وزن خشک برگ در بوته	وزن خشک ساقه در بوته	وزن خشک اندام هوایی
روش آبیاری(MI)	۲	۰/۰۱**	۰/۰۱**	۰/۰۱**	۰/۳۱^{ns}	۰/۰۱**	۰/۰۱**	۰/۰۱**	۰/۰۱**
آب مغناطیس(W)	۲	۰/۰۱**	۰/۶۰^{ns}	۰/۲۱^{ns}	۰/۲۷^{ns}	۰/۰۱**	۰/۲۳^{ns}	۰/۷۸^{ns}	۰/۹۲^{ns}
MI×W	٤	۰/۰۱**	۰/۰۱**	۰/۱۰^{ns}	۰/٤۷^{ns}	۰/۰۱**	۰/۱۱^{ns}	۰/۰٦^{ns}	۰/۰۹^{ns}
خطا (E)	۲۷	–	–	–		–	–	–	–
CV% ضریب تغییرات		۸/٦٤	۷/۸	۹/٤٤	۳/۳۷	۹/۳۷	۹/۰۱	۱٥/۲	۱۳/۷

*. ** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و غیر معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد

سطح برگ تحت تأثیر معنی‌دار اثر متقابل روش‌های مختلف آبیاری و شدت‌های مختلف آب مغناطیس شده قرار گرفت (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین سطح برگ نشان داد که در بین روش‌های مختلف آبیاری بیش‌ترین و کم‌ترین میزان سطح برگ به ترتیب در روش آبیاری متداول و روش آبیاری بخش ریشه به‌طور ثابت و آب مغناطیس شده با شدت۰/۶۳۳ تسلا مشاهده شد (جدول ۴). در روش آبیاری متداول میزان سطح برگ در شدت ۰/۳۶۷ و ۰/۶۳۳ تسلا به ترتیب ۱۱ و ۳۹ ٪ نسبت به آب معمولی (شاهد) افزایش یافت اما در روش آبیاری ناحیه‌ای ریشه به‌طور ثابت و متغیر میزان سطح برگ به علت وجود تنش خشکی روند نزولی داشت و آب مغناطیس شده نتوانست اثرات تنش خشکی را تعدیل کند (جدول ۴). پاسخ گیاه در هنگام بروز تنش خشکی، کاهش سطح برگ بوده که کاهش میزان تعرق را به همراه دارد تا میزان آب موجود در داخل اندام‌ها حفظ شود از دلایل کاهش سطح برگ می‌توان به کاهش آماس سلولی و پتانسیل فشاری در برگ اشاره کرد، به‌طوری که این کاهش منجر به کاهش فتوسنتز شده و به تبع آن مقدار مواد فتوسنتزی برای رشد برگ کاهش می‌یابد و نهایتاً منجر به کاهش سطح برگ می‌شود (نیکبخت و همکاران، ۱۳۹۳). محتوی نسبی آب برگ تحت تأثیر معنی‌دار روش‌های مختلف آبیاری قرار گرفت (جدول ۳). بررسی نتایج نشان داد که بیش‌ترین میزان محتوی نسبی آب برگ در بین روش‌های مختلف آبیاری به ترتیب در روش آبیاری متداول، روش آبیاری ناحیه‌ای ریشه به‌طور متغیر و روش آبیاری ناحیه‌ای ریشه به‌طور ثابت بود و آب مغناطیس شده با شدت۰/۶۳۳تسلا نسبت به آب مغناطیس شده با شدت ۰/۳۶۷تسلا منجر به افزایش بیشتر محتوی رطوبت نسبی گردید (جدول۴). در روش‌های آبیاری ناحیه‌ای ریشه به‌طور ثابت و متغیر و آب مغناطیس شده از تیمار شاهد به ۰/۳۶۷و ۰/۶۳۳ تسلا محتوی نسبی آب برگ روند افزایشی داشت که میزان افزایش آن در روش آبیاری ناحیه‌ای به‌طور ثابت و متغیر به ترتیب ۱۶٪ و ۸٪ بود (جدول ۴). ابتدایی‌ترین عکس العمل درونی بروز تنش‌های اسمزی مانند خشکی در بسیاری از گیاهان سبب تقلیل پتانسیل آبی و در نتیجه افت RWC می‌باشد (سرافراز اردکانی و همکاران، ۱۳۹۷). آب مغناطیس شده می‌تواند با تغییر خواص آب باعث تضعیف پیوند واندروالسی و تقویت پیوندهای هیدروژنی شود. به دلیل تغییرات فیزیکی و شیمیایی آب آبیاری و کوچک‌تر شدن مولکول‌های آب و افزایش توانایی جذب آب توسط گیاه RWC افزایش می‌یابد (Ali Al-Jubouri and Hamza, 2012) نتایج به‌دست آمده با نتایج سایر پژوهشگران برای گیاه گوجه‌فرنگی مطابقت داشت (Selim and El-Nady, 2011). میزان کلروفیل a تحت تأثیر معنی‌دار روش‌های مختلف آبیاری و شدت‌های مختلف آب مغناطیس شده قرار نگرفت (جدول۳). اما غلظت کلروفیل b تحت تأثیر معنی‌دار برهم‌کنش روش‌های مختلف آبیاری و شدت‌های مختلف آب مغناطیس شده قرار گرفت (جدول ۳). بیش‌ترین میزان کلروفیل b در بین روش‌های مختلف آبیاری به ترتیب در روش آبیاری ناحیه‌ای ریشه به‌طور ثابت، روش آبیاری ناحیه‌ای ریشه به‌طور

متغیر و آبیاری متداول مشاهده شد (جدول ۴). مقایسه شدت‌های مختلف آب مغناطیس بیش‌ترین و کم‌ترین غلظت کلروفیل b را به ترتیب در شدت ۰/۳۶۷ تسلا و شاهد نشان داد. استفاده از آب مغناطیس شده منجر به افزایش غلظت کلروفیل b در تمام روش‌های آبیاری شد که در روش آبیاری متداول ۶۱ ٪ در روش آبیاری ناحیه‌ای ریشه به‌طور ثابت و متغیر به ترتیب ۲۱٪ و ۱۰ ٪ افزایش یافت (جدول ۴). یکی از تغییرات بیوشیمیایی در گیاهانی که در شرایط تنش‌های محیطی نظیر خشکی و شوری قرار دارند، تولید گونه‌های فعال اکسیژن با افزایش انتقال الکترون به مولکول اکسیژن است که گیاه برای جلوگیری از آسیب این گونه‌های فعال اکسیژن با افزایش میزان کلروفیل b سعی می‌کند تا میزان آسیب به گیاه را به حداقل برساند (فتحی–امیرخیز و همکاران، ۱۳۹۰). وزن خشک اندام هوایی تحت تأثیر معنی‌دار روش‌های مختلف آبیاری قرار گرفت (جدول ۳). بررسی نتایج نشان داد که در بین روش‌های مختلف آبیاری بیش‌ترین میزان وزن خشک اندام هوایی به ترتیب در روش آبیاری متداول، روش آبیاری ناحیه‌ای ریشه به‌طور متغیر و روش آبیاری ناحیه‌ای ریشه به‌طور ثابت بود (جدول ۶).

جدول ٤- اثر روش‌های مختلف آبیاری ناحیه‌ای ریشه و سطوح مختلف آب مغناطیس بر ویژگی‌های کمی گیاه گوجه‌فرنگی

صفات	شدت آب مغناطیسی (T)	روش آبیاری			میانگین
		آبیاری متداول	آبیاری ناحیه‌ای ریشه به‌طور ثابت	آبیاری ناحیه‌ای ریشه به‌طور متغیر	
ارتفاع بوته (cm)	۰	^{ab}۹۳/۰	^{c}۷٤/۲	^{bc}۸۲/٦	^{A}۸۳/۲
	۰/۳٦۷	^{a}۱۱۰	^{bc}۸۰/۲	^{c}۷۲/٦	^{A}۸۷/٦
	۰/٦۳۳	^{bc}۸۰/۰	^{c}٦۹/٥	^{bc}۷۷/۲	^{B}۷٥/٥
	میانگین	$^{(A)}$۹٤/۳	$^{(B)}$۷٤/٦	$^{(B)}$۷۷/٥	
سطح برگ (cm^2)	۰	^{ac}۱٦٤۰/۲۱	^{bc}۱٤۱٦/۲۳	^{ab}۲۲۰٥/۲٥	^{A}۱۷٥۳/۸۹
	۰/۳٦۷	^{ac}۱۸۲۹/٥٦	^{c}۱۲٦٦/٥٤	^{ac} ۱۸۸۲/٦۱	^{A}۱٦٥۹/٥۷
	۰/٦۳۳	^{a}۲٥٤٤/٦۱	^{c}۱۲۱٤/۳۲	^{ac}۱٦۷۲/٤۲	^{A}۱۸۱۰/٤٥
	میانگین	$^{(A)}$۲۰۰٤/۷۹	$^{(B)}$۱۲۹۹/۰۳	$^{(A)}$۱۹۲۰/۰۹	
محتوی نسبی آب برگ (٪)	۰	^{ab}۸۰/۸	^{b}٦۲/۰	^{ab}۷٤/٤	^{A}۷۲/٤
	۰/۳٦۷	^{b}۸۱/۱	^{ab}۷۲/٦	^{ab}۷۳/۲	^{A}۷٥/٦
	۰/٦۳۳	^{ab}۸٤/۳	^{ab}۷۱/٤	^{a}۷۹/۹	^{A}۷۸/٥
	میانگین	$^{(B)}$۸۲/۱	$^{(B)}$٦۸/۷	$^{(A)}$۷٥/۸	
کلروفیل b ($mg.gfw^{-1}$)	۰	^{b}۰/۲٦۲	^{ab}۰/٤۰٤	^{a}۰/٤۳۷	^{B}۰/۳٦۸
	۰/۳٦۷	^{a}۰/٤۲٤	^{a}۰/٤۸۹	^{a}۰/٤۲۱	^{A}۰/٤٤٥
	۰/٦۳۳	^{ab}۰/۳۹٥	^{ab}۰/۳۸۷	^{a}۰/٤٦٤	$^{A B}$۰/٤۱٥
	میانگین	$^{(B)}$۰/۳٦۰	$^{(A)}$۰/٤۲۷	$^{(A)}$۰/٤٤۰	
وزن خشک برگ ($g.plant^{-1}$)	۰	^{a}۱۹/٦	^{c}۹/۷	^{b}۱۳/۲	^{A}۱٤/۲
	۰/۳٦۷	^{a}۲۰/۸	^{c}۱۰/۰	$^{b c}$۱۲/٥	^{A}۱٤/٤
	۰/٦۳۳	^{a}۱۷/۸	^{c}۹/۹۹	$^{b c}$۱۲/۸	^{A}۱۳/٥
	میانگین	$^{(A)}$۱۹/٤٥	$^{(C)}$۹/۹۲	$^{(B)}$۱۲/۹	
وزن خشک ساقه ($g.plant^{-1}$)	۰	^{a}۱۸/۹	^{b}۸/۲۱	^{b}۱۸/۸	^{A}۱۳/۳
	۰/۳٦۷	^{a}۲۱/۱	^{b}۸/۲۰	^{b}۹/٦۲	^{A}۱۲/۹
	۰/٦۳۳	^{a}۲۱/٤	^{b}۹/۲۷	^{b}۱۰/۰	^{A}۱۳/٥
	میانگین	$^{(A)}$۲۰/٥	$^{(C)}$۸/٥٦	$^{(B)}$۱۰/٥	

* در هر صفت میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

همچنین در تمام روش‌های آبیاری آب مغناطیس شده با شدت ۰/۳۶۷تسلا نسبت به آب شاهد منجر به افزایش وزن خشک اندام هوایی شد که میانگین وزن خشک اندام هوایی در روش آبیاری متداول ۲/۱ برابر روش آبیاری ناحیه‌ای ریشه به‌طور ثابت و ۱/۶ برابر روش آبیاری ناحیه‌ای ریشه به‌طور متغیر بود (جدول ۶).

در این آزمایش آب مغناطیس شده باعث کاهش اثرات تنش شد (جدول ۶). افزایش کلروفیل در هنگام استفاده از میدان مغناطیسی می‌تواند ناشی از افزایش جذب مواد مغذی مورد نیاز مانند منیزیم و نیتروژن برای تشکیل کلروفیل شود (Alzubaidy, 2014). همچنین آب مغناطیس شده باعث افزایش جذب مواد غذایی از طریق ریشه‌ها شده که منجر به کاهش اثر تنش خشکی شده است .Marei et al,) (2014. نسبت وزن برگ به ساقه تحت تأثیر معنی‌دار روش‌های مختلف آبیاری قرار گرفت (جدول ۵). مقایسه میانگین نسبت وزن برگ به ساقه نشان داد که در بین روش‌های آبیاری مختلف بیشترین نسبت وزن برگ به ساقه به‌ترتیب در روش آبیاری ناحیه‌ای ریشه به‌طور متغیر و روش آبیاری ناحیه‌ای ریشه به‌طور ثابت و روش آبیاری متداول بود (جدول ۶). در روش آبیاری متداول و آبیاری ناحیه‌ای ریشه به‌طور ثابت استفاده از آب مغناطیس شده روند کاهشی نشان داد ، که کاهش نسبت وزن برگ به ساقه به ترتیب در آبیاری متداول ۲۵ ٪ و آبیاری ناحیه‌ای به‌طور ثابت ۱۳٪ بود اما در روش آبیاری ناحیه‌ای ریشه به‌طور متغیر در آب مغناطیس شده با شدت ۰/۳۶۷ تسلا نسبت به تیمار شاهد نسبت وزن برگ به ساقه ۲۹٪ افزایش یافت (جدول ۶). مغناطیس کردن آب منجر به افزایش نظم در آرایش مولکول‌های آب و در نتیجه افزایش حلالیت آب می‌شود. حلالیت بیشتر آب باعث حل شدن کاتیون‌ها و آنیون‌های بیشتر شده و گیاه قادر است مواد غذایی بیشتری جذب کند (Ali Al-Jubouri and Hamza., 2012). نسبت اندام هوایی به اندام زیرزمینی تحت تأثیر معنی‌دار اثر متقابل روش‌های مختلف آبیاری و شدت‌های مختلف آب مغناطیس شده قرار گرفت که متأثر از روش‌های آبیاری مختلف بود (جدول ۵). بیش‌ترین نسبت اندام هوایی به اندام زیرزمینی در روش آبیاری ناحیه‌ای ریشه به‌طور متغیر و آب مغناطیس شده با شدت ۰/۳۶۷تسلا بود و کمترین نسبت اندام هوایی به اندام زیرزمینی در روش آبیاری ناحیه‌ای ریشه به‌طور ثابت و آب مغناطیس شده با شدت ۰/۳۶۷ تسلا بود (جدول ۶). نسبت اندام هوایی به اندام زیرزمینی نیز مانند نسبت وزن برگ به ساقه در روش‌های آبیاری متداول و آبیاری ناحیه‌ای ریشه به‌طور ثابت در شدت‌های مختلف آب مغناطیس شده روند کاهشی داشت اما نسبت اندام هوایی به اندام زیرزمینی در روش آبیاری ناحیه‌ای ریشه به‌طور متغیر در آب مغناطیس شده با شدت ۰/۳۶۷ تسلا نسبت به شاهد هفت درصد افزایش یافت (جدول ۶). وزن خشک ریشه تحت تأثیر معنی‌دار برهم‌کنش روش‌های مختلف آبیاری و شدت‌های مختلف آب مغناطیس قرار گرفت که متأثر از روش‌های آبیاری مختلف بود (جدول ۵). در تمام روش‌های آبیاری و شدت‌های مختلف آب مغناطیس شده وزن خشک ریشه روند افزایشی داشت که در روش آبیاری متداول ۳۱٪ در روش آبیاری ناحیه‌ای به‌طور ثابت ۱۱٪ و در روش آبیاری ناحیه‌ای ریشه به‌طور متغیر ۶۰٪ افزایش یافت (جدول ۶). معمولاً افزایش تنش خشکی کاهش وزن خشک ریشه را در پی دارد. با افزایش شدت تنش خشکی فتوسنتز برگ کاهش می‌یابد. با کاهش فتوسنتز برگ به دلیل تنش خشکی احتیاجات قندی برای تنظیم اسمزی در گیاه زیاد می‌شود که این پدیده توقف رشد اجتناب ناپذیر ریشه را در پی دارد Keshavarset) al., 2012). اما در این آزمایش آب مغناطیس شده منجر به کاهش اثرات تنش خشکی شده است و باعث افزایش وزن خشک ریشه شد (جدول۶). احتمالاً اثرات آب مغناطیس شده به عنوان یک عامل محافظ در برابر کمبود آب عمل می‌کند .Selim and El-Nady,) (2011. همچنین آب مغناطیس شده باعث افزایش وزن، طول و قطر ریشه و علاوه برآن کارایی مصرف آب در بخش کشاورزی را نیز بالا می‌برد (Hozayn et al., 2013).

طول ریشه تحت تأثیر معنی‌دار روش‌های مختلف آبیاری قرار گرفت (جدول ۵). نتایج بررسی‌ها نشان داد که در تمام روش‌های آبیاری در شدت۰/۳۶۷ تسلا نسبت به شاهد طول ریشه افزایش پیدا کرده است که در آبیاری متداول ۴/۳ ٪ در روش آبیاری ناحیه‌ای ریشه به‌طور ثابت ۱/۴٪ و در روش آبیاری ناحیه‌ای ریشه به‌طور متغیر ۱/۹٪ طول ریشه افزایش یافته است. افزایش طول ریشه ممکن است به دلیل گسترش دیواره سلول‌های جنینی و افزایش فعالیت آمیلازی بر اثر میدان مغناطیسی باشد (Bilalis et al., 2012). حجم ریشه تحت تأثیر معنی‌دار برهم‌کنش روش‌های مختلف آبیاری و شدت‌های مختلف آب مغناطیس شده قرار گرفت (جدول ۵). بیشترین میزان حجم ریشه مربوط به روش آبیاری متداول و آب شاهد و کمترین حجم ریشه در روش آبیاری ناحیه‌ای ریشه به‌طور متغیر و آب مغناطیس شده با شدت۰/۳۶۷تسلا مشاهده شد (جدول ۶). در روش آبیاری متداول حجم ریشه در شدت‌های مختلف آب مغناطیس شده ۸/۱ ٪ کاهش یافت اما در روش آبیاری ناحیه‌ای ریشه به‌طور ثابت و متغیر به ترتیب ۲۰٪ و۷۵ ٪ حجم ریشه افزایش یافته است (جدول ۶). آب مغناطیس شده با افزایش تقسیم سلولی منجر به افزایش حجم ریشه می‌شود که با نتایج (Rochalska et al., 2008) در گیاه چغندرقند مطابقت دارد.

جدول ۵- منابع تغییر، درجه آزادی و سطح احتمال اثر روش‌های مختلف آبیاری ناحیه‌ای ریشه و سطوح مختلف آب مغناطیس بر صفات کمی وکیفی گیاه گوجه‌فرنگی

اثر تیمارها	درجه آزادی (df)	نسبت وزن برگ به ساقه	نسبت اندام هوایی به زیرزمینی	وزن خشک ریشه	طول ریشه	حجم ریشه	وزن تک میوه	درصد ماده خشک میوه	لیکوپن	وزن کل میوه در بوته	WUE زیست توده کل
(M) روش آبیاری	۲	۰/۰۱**	۰/۰۱**	۰/۰۱**	۰/۰۱**	۰/۰۱**	۰/۰۳*	۰/٤۰^{ns}	۰/۷۰^{ns}	۰/۰۱**	۰/۰۱**
(w)آب مغناطیس	۲	۰/۲۷^{ns}	۰/۱٦^{ns}	۰/۰۷^{ns}	۰/۱۸^{ns}	۰/۰۱**	۰/۱۳^{ns}	۰/۰۱**	۰/۰۱**	۰/۰۱**	۰/۱۲^{ns}
(MI*w)	٤	۰/۱٦^{ns}	۰/۰۲*	۰/۰۱**	۰/۸۰^{ns}	۰/۰۱**	۰/۰۱**	۰/۰۱**	۰/۰۱**	۰/۰۱**	۰/۱۱^{ns}
(E) خطای کل	۲۷	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
CV%ضریب تغییرات		۱۷/٦	۱٤/۱	۱۳/۳	۹/۲۵	۸/۱۲	۱٦/۳	۸/۱۹	۱٦/۲	۱٤/۲	

*. ** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و غیر معنی‌دار در سطح پنج درصد

بررسی نتایج نشان داد که وزن تک میوه تحت تأثیر معنی‌دار برهم‌کنش روش‌های مختلف آبیاری و شدت‌های مختلف آب مغناطیس شده قرار گرفت که متأثر از روش‌های مختلف آبیاری بود (جدول ۵). بیشترین و کمترین وزن تک میوه در روش آبیاری ناحیه‌ای ریشه به‌طور ثابت و آب مغناطیس شده با شدت ۰/۳۶۷ و ۰/۶۳۳ تسلا مشاهده شد (جدول ۶). در تمام روش‌های آبیاری وزن تک میوه در شدت‌های مختلف آب مغناطیس شده نسبت به آب (شاهد) افزایش یافته است که این افزایش در روش آبیاری متداول و در روش آبیاری ناحیه‌ای ریشه به‌طور متغیر و آب مغناطیس شده با شدت۰/۶۳۳تسلا وزن تک میوه ۲۴٪ و۱۶٪ بود اما وزن تک میوه در روش آبیاری ناحیه‌ای ریشه به‌طور ثابت در شدت ۰/۳۶۷ تسلا ۲۵٪ افزایش داشت (جدول ۶).

جدول ٦- اثر روش‌های مختلف آبیاری ناحیه‌ای ریشه و سطوح مختلف آب مغناطیس بر ویژگی های کمی وکیفی گیاه گوجه‌فرنگی

صفات	شدت آب مغناطیسی (T)	روش آبیاری			میانگین
		آبیاری متداول	آبیاری ناحیه‌ای ریشه به‌طور ثابت	آبیاری ناحیه‌ای ریشه به‌طور متغیر	
وزن خشک اندام هوایی (g.plant^{-1})	۰	^{a}۳۸/٦	^{c}۱۷/۹	^{b}۲٦/۱	۲۷/۵^{A}
	۰/۳٦۷	^{a}٤۱/۹	^{c}۱۸/۲	$^{b\,c}$۲۲/۲	۲۷/٤^{A}
	۰/٦۳۳	^{a}۳۹/۳	^{c}۱۹/۲	$^{b\,c}$۲۲/۹	۲۷/۱^{A}
	میانگین	$^{(A)}$۳۹/۹	$^{(C)}$۱۸/٤	$^{(B)}$۲۳/۷	
وزن برگ/ساقه (g.plant^{-1})	۰	^{ab}۱/۰۵	^{ab}۱/۲۰	^{ab}۱/۰٦	^{A}۱/۱۰
	۰/۳٦۷	^{ab}۰/۹۸۸	^{ab}۱/۲۳	^{a}۱/۳۷	^{A}۱/۱۹
	۰/٦۳۳	^{b}۰/۸٤۳	^{ab}۱/۰۸	^{ab}۱/۲۹	^{A}۱/۰۷
	میانگین	$^{(B)}$۰/۹٦۵	$^{(A)}$۱/۱۷	$^{(A)}$۱/۲٤	
اندام هوایی/اندام زیرزمینی (g.plant^{-1})	۰	^{ab}۲/۹۵	^{ab}۲/۰۳	^{ab}۲/۹۳	^{A}۲/٦٤
	۰/۳٦۷	۲/٤۳^{ab}	^{b}۱/۸۲	^{a}۳/۱٤	^{A}۲/٤٦
	۰/٦۳۳	^{ab}۲/۸۵	^{ab}۱/۹۹	^{b}۱/۹۲	^{A}۲/۲۵
	میانگین	$^{(A)}$۲/۷۵	$^{(B)}$۱/۹۵	$^{(A)}$۲/٦٦	
وزن خشک ریشه (g.plant^{-1})	۰	^{b}۱۳/۲	^{cd}۸/۹۲	^{cd}۹/۰۵	^{A}۱۰/٤

	۰/۳۶۷	^{a}۱۷/٤	$^{b\,d}$۹/۹۸	^{d}۷/٤٦	^{A}۱۱/٦
	۰/٦۳۳	^{ab}۱۳/۷	$^{b\,d}$۹/۸۷	^{bc}۱۲/۰	^{A}۱۱/۸
	میانگین	$^{(A)}$۱٤/۸	$^{(B)}$۹/۵۲	$^{(B)}$۹/۵۱	
طول ریشه (cm)	۰	^{a}٤٦/۲	^{a}۵۲/۵	^{a}۵۲/۵	^{A}۵۰/٤
	۰/۳٦۷	^{a}٤۸/۰	^{a}۵۳/۲	^{a}۵۳/۰	^{A}۵۱/٤
	۰/٦۳۳	^{a}٤۱/٤	^{a}۵۲/۲	^{a}۵۰/۰	^{A}٤۷/۸
	میانگین	$^{(B)}$٤۵/۲	$^{(A)}$۵۲/٦	$^{(A)}$۵۱/۸	
حجم ریشه($cm^3.plant^{-1}$)	۰	^{a}۱۳۷	^{de}۷٦/۲	^{de}۸۰/۰	^{B}۹۷/۹
	۰/۳٦۷	^{ab}۱۲۷	^{de}۷۵/۰	^{e}٦۱/۸	c۸۸/۰
	۰/٦۳۳	^{a}۱۲۹	^{cd}۹۰/۰	^{bc}۱۰۸	^{A}۱۰۹
	میانگین	$^{(A)}$۱۳۱	$^{(B)}$۸۰/٤	$^{(B)}$۸۳/٤	
وزن تک میوه($g.plant^{-1}$)	۰	^{b}۳۰/٦	^{ab}۳۸/۱	^{b}۲۹/۸	^{A}۳۲/۸
	۰/۳٦۷	^{b}۲۹/۷	^{a}٤۸/۰	^{ab}۳٤/۸	^{A}۳۷/۵
	۰/٦۳۳	^{ab}۳۸/۳	^{b}۲۹/۲	^{ab}۳٤/۸	^{A}۳٤/۱
	میانگین	$^{(A)}$۳۲/۹	$^{(A)}$۳۸/٤	$^{(A)}$۳۳/۱	
درصد ماده خشک میوه	۰	^{ab}۹/۱۵	^{a}۹/۵۲	^{ab}۹/٤٤	^{A} ۹/۳۷ B
	۰/۳٦۷	^{ab}۹/۲۷	^{b}٦/۷۸	^{ab}۹/۳۳	^{B}۸/٤٦
	۰/٦۳۳	^{ab}۸/٦۱	^{a}۱۱/۱	^{a}۱۰/۰	^{A}۹/۹۲
	میانگین	$^{(A)}$۹/۰۱	$^{(A)}$۹/۱۵	$^{(A)}$۹/۵۹	
لیکوپن ($mg.gfw^{-1}$)	۰	^{c}۲۲/۲	^{c}۲۱/٦	^{ac}۲٦/۵	^{B}۲۳/٤
	۰/۳٦۷	^{c}۲۰/٤	^{ac}۲۷/٤	^{ac}۳۵/۲	^{B}۲۷/۷
	۰/٦۳۳	^{a}٤۸/٦	^{ab}٤٦/۳	^{bc}۲٤/۵	^{A}۳۹/۸
	میانگین	$^{(A)}$۳۰/٤	$^{(A)}$۳۱/۸	$^{(A)}$۲۸/۷	
وزن کل میوه ($g.plant^{-1}$)	۰	^{ab}۳۰۳	^{ab}٤۳۳	^{b}۲۲۷	$^{A\,B}$۳۲۱
	۰/۳٦۷	^{b}۲۲٤	^{b}۲۷۲	^{b}۲٤٦	^{B}۲٤۸
	۰/٦۳۳	^{a}۵۰۸	^{ab}۳۳۲	^{b}۲٤۷	^{A}۳٦۲
	میانگین	$^{(A)}$۳٤۵	$^{(A)}$۳٤٦	$^{(B)}$۲۷۰	
WUE (g/liter) زیست توده کل	۰	^{b}۱۵/٤	^{a}۳٦/٦	^{ab}۲۰/٦	۲٤/۲^{A}
	۰/۳٦۷	^{b}۱۲/۰	^{ab}۲۳/٦	^{ab}۲۱/۸	^{A}۱۹/۲
	۰/٦۳۳	^{ab}۲۲/٦	^{ab}۲۸/٦	^{ab}۲۲/۰	۲٤/٤^{A}
	میانگین	$^{(B)}$۱٦/۷	$^{(A)}$۲۹/٦	$^{(B)}$۲۱/۵	

* در هر صفت میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک براساس آزمون LSDدر سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

کاهش عملکرد گیاه در هنگام مواجهه با تنش خشکی ممکن است به دلیل عدم وجود رطوبت کافی در منطقه‌ی ریشه گیاه باشد. کاهش رطوبت، کاهش فرایندهای فیزیولوژیکی از قبیل جذب مواد غذایی، رشد گیاه، فتوسنتز و تجمع ماده خشک گیاهی را به دنبال دارد که این مهم منجر به کاهش عملکرد گیاه در مواجهه با تنش آبی می‌شود (اصلانی و همکاران، ۱۳۹۸). تنش آبی باعث کاهش واکنش‌های بیولوژیک و آب ذخیره شده در میوه می‌شود که در این حالت کاهش عملکرد ناشی از کاهش فتوسنتز و انتقال مواد به سمت

میوه می‌باشد (Keshavars et al., 2012). اما آبیاری با آب مغناطیس شده منجر به افزایش در دسترس بودن، جذب و همراه کردن مواد غذایی در سیستم گیاه شده و منجر به افزایش وزن تک میوه و عملکرد بهتر گیاه شود (El-Kholy, 2015).

بررسی نتایج آزمایش نشان داد که درصد ماده خشک میوه تحت تأثیر معنی‌دار برهم‌کنش روش‌های مختلف آبیاری و شدت‌های مختلف آب مغناطیس شده قرار گرفت که متأثر از شدت‌های مختلف آب مغناطیسی بود (جدول ۵). درصد ماده خشک میوه در روش آبیاری ناحیه‌ای ریشه به‌طور ثابت و متغیر و آب مغناطیس شده با شدت ۰/۶۳۳تسلا نسبت به شاهد ۱۷ و ۵ ٪ افزایش یافت (جدول ۶). در روش آبیاری متداول به نظر می‌رسد چون تحت شرایط تنش آبی نبوده میزان افزایش درصد ماده خشک میوه ناچیز بود گیاه در شرایط نسبتاً یکنواخت به رشد خود ادامه داده است اما در روش آبیاری ناحیه‌ای ریشه به‌طور ثابت و متغیر چون گیاه با تنش آبی مواجه بوده سعی کرده برای بقاء خود تلاش بیشتری انجام دهد که منجر به افزایش درصد ماده خشک میوه شده است. بررسی نتایج آزمایش نشان داد که لیکوپن تحت تأثیر معنی‌دار برهم‌کنش روش‌های مختلف آبیاری و شدت‌های مختلف آب مغناطیس شده قرار گرفت که متأثر از شدت‌های مختلف آب مغناطیسی بود (جدول ۵). بررسی نتایج حاصله نشان داد که در بین روش‌های مختلف آبیاری بیشترین میزان لیکوپن به ترتیب در روش آبیاری متداول و روش آبیاری ناحیه‌ای ریشه به‌طور ثابت و آبیاری ناحیه‌ای ریشه به‌طور متغیر بود (جدول ۶). مقدار لیکوپن در تمام روش‌های آبیاری با استفاده از آب مغناطیس شده افزایش یافت که میزان لیکوپن در روش آبیاری متداول و روش آبیاری ناحیه‌ای ریشه به‌طور ثابت با استفاده از آب مغناطیس شده با شدت ۰/۶۳۳ تسلا ۲/۱ برابر شاهد بود اما میزان لیکوپن در روش آبیاری ناحیه‌ای ریشه به‌طور ثابت و با استفاده از آب مغناطیس شده با شدت ۰/۳۶۷ تسلا ۱/۳ برابر شاهد بود (جدول ۶). در شرایط تنش آبی رشد رویشی کاهش یافته و عوامل کیفی میوه از جمله لیکوپن بهبود می‌یابد و گیاه سعی می‌کند با کنترل تنش و متمرکز شدن بر عملکرد و عوامل کیفی دوره رویشی را کامل کند. همچنین استفاده از آب مغناطیس شده را می‌توان به افزایش پروتئین، مواد معدنی تجمعی، جذب آب و فعالیت‌های آنزیمی نسبت داد که منجر به افزایش رشد و بهبود صفات کیفی گیاه شود (Al-Jubouri and Hamza, 2012). وزن کل میوه در بوته تحت تأثیر معنی‌دار برهم‌کنش روش‌های مختلف آبیاری و شدت‌های مختلف آب مغناطیس شده قرار گرفت (جدول ۵). در بین روش‌های مختلف آبیاری بیشترین وزن میوه به ترتیب در روش آبیاری متداول، روش آبیاری ناحیه‌ای ریشه به‌طور ثابت و متغیر بود و در بین شدت‌های مختلف آب مغناطیس شده بیشترین وزن کل میوه در بوته در شدت ۰/۶۳۳ تسلا و کمترین وزن کل میوه در بوته در آب شاهد مشاهده شد (جدول ۶). کارایی مصرف آب زیست‌توده کل فقط تحت تأثیر معنی‌دار روش‌های مختلف آبیاری قرار گرفت (جدول ۵). در بین روش‌های مختلف آبیاری بیشترین کارایی مصرف آب زیست‌توده کل در روش آبیاری ناحیه‌ای ریشه به‌طور ثابت و آب شاهد و کمترین کارایی مصرف آب زیست‌توده کل در روش آبیاری متداول و آب مغناطیس با شدت ۰/۳۶۷ تسلا مشاهده شد (جدول ۶). با توجه به نتایج حاصله میزان تغییرات کارایی مصرف آب زیست‌توده کل در روش آبیاری متداول ۸۸٪ می‌باشد که استفاده از آب مغناطیس شده منجر به افزایش کارایی مصرف آب زیست‌توده کل شده است در روش آبیاری ناحیه‌ای ریشه به‌طور ثابت میزان تغییرات ۵۵٪ بود که استفاده از آب مغناطیس شده روند کاهشی نشان داد اما در روش آبیاری ناحیه‌ای ریشه به‌طور متغیر میزان تغییرات کارایی مصرف آب زیست‌توده کل ۶/۷٪ افزایش یافت و استفاده از آب مغناطیس شده منجر به روند افزایشی در سطوح مختلف شد. در هر نوبت آبیاری، در تیمار آبیاری یک در میان ثابت نسبت به تیمار آبیاری یک در میان متغیر، رطوبت بیشتری در اطراف و در منطقه توسعه ریشه موجود بوده است. این امر باعث کاهش مقاومت مکانیکی خاک در مقابل توسعه ریشه شده و در نتیجه باعث افزایش طول و تراکم ریشه در تیمار آبیاری یک در میان ثابت به سمت قسمتی از گلدان که همیشه آب دریافت می‌کرده شد بنابراین با توجه به دلایل مذکور در تیمار آبیاری یک در میان ثابت آب بهتر در محیط ریشه حفظ شده و گیاه از طریق متراکم کردن ریشه‌های خود به سمت قسمتی از گلدان که آبیاری می‌شود، از آب بهتر استفاده نموده و در نتیجه عملکرد محصول و استفاده مؤثر از آب در این تیمار نسبت به تیمار آبیاری یک در میان متغیر افزایش یافته است که با نتایج (مولوی و همکاران،۱۳۹۰) مطابقت داشت. به‌طور کلی روش آبیاری ناحیه‌ای ریشه به‌طور ثابت نسبت به متغیر بهتر بود و هر دو شدت آب مغناطیس شده منجر به بهبود بعضی صفات شدند. آبیاری با آب مغناطیسی به عنوان یکی از با ارزش‌ترین فناوری‌های مدرن است که می‌تواند در صرفه‌جویی در مصرف آب و بهبود عملکرد و کیفیت گیاهان موثر باشد. Hozayn et al., 2013).

منابع

اصلانی، ش.، برزگر، ط.، و نیک بخت، ج. ۱۳۹۸. اثر اسید هیومیک بر شاخص های فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و عملکرد گوجه فرنگی تحت شرایط کم‌آبیاری. ۲۲۱-۲۳۲.

خوش روش، م.، امامی قرا، ف.، و میرناصری، م. ۱۳۹۴. اثر آب شور مغناطیسی شده بر یون کلر خاک در آبیاری قطره‌ای. اولین کنفرانس بین‌المللی توسعه با محوریت کشاورزی، محیط زیست و گردشگری، ۲۵ تا ۲۶ شهریور، تبریز.

خرمیان، م. ۱۳۸۱. بررسی اثر کم‌آبیاری به روش جویچه‌ای یک در میان بر عملکرد ذرت دانه‌ای در شمال خوزستان. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. ۳ (۱۱): ۱۰۱-۹۱.

رستگار، س.، صادقی لاری، ع.، و سالاری، م. ۱۳۹۳. اثر آب مغناطیسی بر جوانه‌زنی و خصوصیات رشد اولیه بذر گوجه‌فرنگی *Lycopercicum esculentum*. اولین همایش الکترونیکی یافته‌های نوین در محیط زیست و اکوسیستم‌های کشاورزی. ۱ آذر. تهران.

سرافراز اردکانی، م.ر.، خاوری نژاد، ر.، مرادی، ف.، و نجفی، ف. ۱۳۹۷. کارایی فتوسنتز و عملکرد دانه دو رقم گندم (*Triticum aestivum* L.) طی بروز تنش خشکی تحت کاربرد خارجی تیمارهای سیتوکینین و آبسیزیک اسید. تنش‌های محیطی در علوم زراعی. ۱۱ (۳): ۵۰۳-۵۱۴.

شینی دشتگل، ع.، کشکولی، آ.، برومند، س. و نسب، س. ۱۳۸۸. تأثیرات آبیاری خزر بر بهره وری از آب و کیفیت و کمیت در جنوب مزارع نیشکر اهواز، مجله علوم خاک و آب، دانشگاه صنعتی اصفهان. ۴۹ (۱):۴۵-۵۷.

علیزاده، ا. ۱۳۸۴. رابطه آب، خاک و گیاه. انتشارات دانشگاه امام رضا.

گلدانی، م.، جوادی، م.، و نظامی، ا. ۱۳۹۵. تاثیر آب مغناطیسی و تنش شوری بر خصوصیات جوانه‌زنی و رشد گیاهچه لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.). نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران. ۷ (۱): ۸۱-۹۲.

گلکار، ف.، فرهمند، ع. ر. و فرداد، ح. ۱۳۸۷. بررسی تأثیر میزآن آب آبیاری بر عملکرد و بازده مصرف آب گوجه‌فرنگی. مجله مهندسی آب. ۱:۱۳-۲۰.

فتحی-امیرخیز، ک.، م. امینی، م.، ا. مدرس-سنوی، ع. رضا زاده و س. حشمتی.۱۳۹۰. تأثیر کاربرد آهن بر فعالیت آنزیمی، عملکرد دانه و محتوای روغن گلرنگ در شرایط کم‌آبیاری مجله علوم زراعی، ۱۳(۳): ۴۶۵-۴۵۲.

متانت، م.، بانژاد، ح.، قلی‌زاده، م.، و گلدانی، م. ۱۳۹۷. بررسی تأثیر شدت های مختلف آب مغناطیسی بر عملکرد کمی و کیفی گیاه تربچه. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱۲ (۲): ۴۷۲-۴۸۰.

محمودی، ق.، قنبری، ع.، راستگو، م.، قلی زاده، م.، و طهماسبی، ا. ۱۳۹۵. بررسی اثر میدان مغناطیسی بر رشد و عملکرد نخود (*Cicer arietinum* L.) در شرایط آب و هوایی مشهد. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران. ۱۴(۲): ۳۸۰-۳۹۱ .

مولوی، ح.، محمدی، م. و لیاقت، ع. ۱۳۹۰. اثر آبیاری کامل و یک‌درمیان جویچه‌ای بر عملکرد، اجزاء عملکرد و کارآیی مصرف آب گوجه فرنگی (Super Strain B) نشریه دانش آب و خاک. ۲۱(۳): ۱۱۵-۱۲۶.

نایب لویی، ف.، کوچک زاده، م.، و موسوی خوشدل، م. ۱۳۹۰. آبیاری با آب مغناطیسی به عنوان روش جدیدی در افزایش بهره‌وری کشاورزی. اولین همایش ملی مباحث نوین در کشاورزی، آبان ماه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساوه.

نیکبخت، ج.، خنده‌رویان، م.، توکلی، ا.، و طاهری، م. ۱۳۹۳. اثر آبیاری مغناطیسی بر خصوصیات جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاه ذرت *Zea mays* . نشریه زراعت پژوهش و سازندگی. ۱۰۵: ۱۴۱-۱۴۷.

Alzubaidy, N.A. 2014. Research article effect of magnetic treatment of seeds and irrigation water at different intensities in the growth and production of maize. International Journal of Recent Scientific Research 5(10): 1923-1925.

Ali Al-Jubouri, A.E.A.M., and Hamza. J. H. 2012. Magnetically water treatment technology and its impact in the agricultural field. he 2nd Scientific Conference of Agricultural Sciences

Bilalis, D., Katsenios, N., Efthimiadou, A., Efthimiadis, P., and Karkanis, A. 2012. Pulsed electromagnetic fields effect in oregano rooting and vegetative propagation: a potential new organic method. Acta Agriculturae Scandinavica Section B Soil and Plant Science. 62: 94-99.

Blanco, F., and Folegatti, M.V. 2003. Evapotranspiration and crop coefficient of cucumber in greenhouse. Revista Brasileria de Engenharria Agricola Ambiental. 7(2): 285-291

Barba, A.O., Hurtado M.C., Mata M.S., Ruiz V.F. and De Tejada M.L.S. 2006. Application of a UV–vis detection-HPLC method for a rapid determination of lycopene and β-carotene in vegetables. Food Chemistry. 95(2): 328–336

Chibowski, E., and Szcze, A. 2018. Magnetic water treatmentea review of the latest approaches. Chemosphere. 203: 54-67.

Dere, S., Gines, T., and Sivaci, R. 1998. Spectrophotometric determination of chlorophyll a, b and total carotenoid contents of some algae species using different solvents. Turkish Journal of Botany. 22: 13-17.

Dodd, I. C. 2009. Rhizosphere manipulations to maximize 'crop per drop' during deficit irrigation. Journal of Experimental Botany. 60: 2454–2459.

El-Kholy, M.F., Hosny, S.S., and Farag, A.A. 2015. Effect of magnetic water and different levels of npk on growth, yield and fruit quality of Williams's

content and grain yield of wheat cultivars. Journal of Biological Sciences 7(6): 841- 847

Payero, J.O., Tarkalson, D.D., Irmak, S., Davison, D. and Petersen, J.L. 2009. Effect of timing of a deficit-irrigation allocation on corn evapotranspiration, yield, water use efficiency and dry mass. Agricultural Water Management 96(10): 1387-1397

Rochalska, M., Grobowska, K., And Ziarnik, A. 2008. Impact of low frequency magnetic fields on yield and quality of sugar beet. International Agrophysics. 23(2): 163-174.

Sadras, V.O. 2009. Does partial root-zone drying improve irrigation water productivity in the field? A meta-analysis. Irrigation Science 27: 183–190.

Sepaskhah, A.R., and Ahmadi, S.H. 2012. A review on partial root-zone drying irrigation. International Journal of Plant Production 4(4): 241-258.

Slatni, A., Zayani K., Zairi A., Yacoubi S., Salvador R., and Playan E. 2011. Assessing alternate furrow strategies for potato at the Cherfech irrigation district of Tunisia. Biosystem Engineering. 108(2):154-163.

Selim, A. F. H., and El-Nady, M. F. 2011. Physio-anatomical responses of drought stressed tomato plants to magnetic field. Acta Astronautica. 69: 387–396.

Thind, H. S., Buttar, G. S., & Aujla, M. S. 2010. Yield and water use efficiency of wheat and cotton under alternate furrow and check-basin irrigation with canal and tube well water in Punjab, India. Irrigation Science. 28(6): 489-496

Ul Haq, Z., Iqbal, M., Jamil, Y., Anwar, H., Younis, A., Arif, M. and Hussain, F. 2016. Magnetically treated water irrigation effect on turnip seed germination, seedling growth and enzymatic activities. Information Processing in Agriculture 3(2): 99-106.

Wang, H., Liu, F., Andersen, M.N., and Jensen, C.R. 2010. Comparative effects of partial root-zone drying and deficit irrigation on nitrogen uptake in potatoes (*Solanum tuberosum* L.). Irrigation Science. 27(6): 443-448.

Zegbe, J.A., Behboudian, M.H., and Clothier, B.E. 2006. Responses of 'Petopride'processing tomato to partial rootzone drying at different phenological stages. Irrigation Science 24(3): 203-210.

banana plant. Nature and Science of Sleep. 13(7): 94-101

Hozayn, M., Abd El Monem, A.A., Abdelraouf, R.E., and Abdalla, M.M. 2013. Do Magnetic Water Affect Water Use Efficiency, Quality and Yield of Sugar Beet (*Beta vulgarris* L.) Plant under Arid Regions Conditions. Journal of Agronomy 12(1): 1-10.

Hassanselim, A.F., and Fathiel-Nady, M. 2011. Physio-Anatomical Responses of Drought Stressed Tomato Plants to Magnetic Field. Acta Astronautica 69: 387–396.

Khalil, M.H., Shebl, M.K., Kosba, M.A., El-Sabrout, K., and Zaki, N. 2016. Estimate the contribution of incubation parameters influence egg hatchability using multiple linear regression analysis. Veterinary World 9(8):806-810 .

Khalid, K.A. 2006. Influence of water stress on growth, essential oil, and chemical composition of herbs (*Ocimum* sp.). Int. Agrophys. 20(4): 289-296

Keshavars, L., Farahbakhsh, H., and Golkar, P. 2012. The effects of drought stress and super absorbent polymer on morphphysiological traits of pear millet (*Pennisetum glaucum*), International Research Journal of Applied and Basic Sciences 3(1): 148-154

Maheshwari, B.L., and Grewal, H.S. 2009. Magnetic treatment of irrigation water: Its effects on vegetable crop yield and water productivity. Agricultural Water Management 96(8): 1229-1236

Marei, A., Rdaydeh, D., Karajeh, D. and Abu-Khalaf, N. 2014. Effect of using magnetic brackish water on irrigated bell pepper crop (*Capsicum annuum* L.) characteristics in Lower Jordan Valley/West Bank. 4: 830- 838

Mancosu, N., Snyder, R. L., Kyriakakis, G., and Spano, D. 2015. Water scarcity and future challenges for food production. Water. 7: 975–992.

Mosin, O., and Ignatov, I. 2014. Basic concepts of magnetic water treatment. European Journal of Molecular Biotechnology. 2 (4): 72-85.

Porra, R.J. 2002. The chequered history of the development and use of simultaneous equations for the accurate determination of chlorophylls a and b. Photosynthesis Res. 73:149-156.

Paknejad, F., Nasri, M., Moghadam, H.T., Zahedi, H., and Alahmadi, M.J. 2007. Effects of drought stress on chlorophyll fluorescence parameters, chlorophyll

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 6, Vol. 14, Feb.-Mar. 2021, p. 2025-2036

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۶، جلد ۱۴، بهمن - اسفند ۱۳۹۹، ص. ۲۰۳۶-۲۰۲۵

Effect of Partial Root-zone Drying and Magnetic Water on the Growth Characteristics of Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) in Greenhouse Conditions

S. Salehi Tizabi[1], M. Goldani[2]*, J. Nabati[3]
Recived: Sep.09, 2020 Accepted: Oct.17, 2020

Abstract

One of the ways to increase the quality of irrigation water is to magnetize it. This study was done in the research greenhouse of Ferdowsi University of Mashhad in 2018. The experiment was completely randomized design as a factorial design with three treatments included irrigation method (usual irrigation, fixed partial root-zone drying and alternative partial root-zone drying and three levels of magnetic water). This included: ordinary water, one-time magnetic water with a Tesla intensity of 0.367 and Tesla 0.633). Examination of the experimental results showed that in the usual irrigation method and magnetic water with a Tesla intensity of 0.367, the highest plant height (110 cm) , Dry weight of aerial limbs (41.9 g.plant-1, dry weight of roots (17/1 (g.plant-1 and root volume (137 cm^3.plant-1) and in the usual irrigation method and water Tesla's magnitude of 0.633 was the highest leaf area (25.24 cm^2), total fruit weight (508.18 g), lycopene (48.6 (mg.gfw-1). fixed partial root-zone drying magnetic water with .0.367 intensity Tesla The highest amount of chlorophyll b (0.489 mg.gfw-1) and single fruit weight (48.03 g) and in the intensity of Tesla 0.633, the highest percentage of dried fruit (%11.1) was observed. The highest water use efficiency Total biomass (36.6 g / liter) was observed in fixed partial root-zone drying and control water. alternative partial root-zone drying and magnetic water with Tesla 0.367 intensity, maximum leaf-stem ratio (1.37 g.plant-1), air-to-underground ratio (3.14 g.plant-1) and root length (53.2 cm) was observed, but the highest content of relative moisture content of leaf water in alternative partial root-zone drying and magnetic water showed Tesla with a intensity of 0.633. Among the irrigation methods, the highest total fruit weight in each pot was observed in usual irrigation, fixed partial root-zone drying and alternative partial root-zone drying was observed as variable and both Tesla 0.367 and 0.633 intensity of magnetic water were able to improve traits. It is recommended to reduce the effects of drought stress, it is recommended to use this method that is safe, easy and safe for the environment.

Keywords: Irrigation methods, Lycopene, Relative water content, Tesla, Water use efficiency

1- M.Sc. Student, Department of Agrotechnology, Ferdowsi University of Mashhad
2- Associate Professor, Department of Agrotechnology, Ferdowsi University of Mashhad
3- Assistant Professor of Ferdowsi University of Mashhad, Research Center for Plant Sciences
(*- Corresponding Author Email: goldani@um.ac.ir)