

بررسی اثر متقابل کم آبیاری و آب مغناطیسی بر عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری آب گیاه همیشه بهار

صابر جمالی، حسین انصاری^۱ و عباس صفری زاده ثانی

دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

Saber.jamali@mail.um.ac.ir

استاد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

Ansary@um.ac.ir

دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

Abbas.safarizadehsani@mail.um.ac.ir

دریافت: خرداد ۱۴۰۱ و پذیرش: شهریور ۱۴۰۱

چکیده

به منظور بررسی اثر متقابل آب مغناطیسی و کم آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی همیشه بهار، آزمایشی گلدانی به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۱۳۹۸ با سه تکرار اجرا گردید. تیمارهای پژوهش شامل چهار سطح آبیاری (۱۰۰٪، ۸۵٪، ۷۰٪ و ۵۵٪ ظرفیت زراعی) و دو نوع آب (آب معمولی و آب مغناطیسی) بود. نتایج نشان داد که اثر سطوح مختلف آبیاری بر تمامی صفات (به جز بهره‌وری فیزیکی آب که در سطح ۵٪ معنی دار بود) در سطح احتمال ۱٪ معنی دار شد و اثر آب مغناطیسی نیز بر روی وزن خشک شاخه جانبی و گل، تعداد گل و بهره‌وری فیزیکی آب در سطح احتمال ۱٪ و بر وزن خشک ساقه گل‌دار و برگ، تعداد برگ و شاخه جانبی در سطح احتمال ۵٪ معنی دار شد. اثر متقابل تیمارها نیز بر تعداد برگ در سطح احتمال ۱٪ و بر وزن خشک ریشه، گل و ساقه گل‌دار در سطح احتمال ۵٪ معنی دار شد. بیشترین میزان وزن خشک برگ و ساقه گل‌دار، تعداد گل، تعداد برگ و شاخه جانبی، ارتفاع و بهره‌وری فیزیکی مصرف آب در تیمار آبیاری به میزان ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی و به ترتیب با ۱/۷۷ و ۰/۳۷ گرم در بوته، هفت و شش عدد، ۱۸/۴ سانتی‌متر و ۰/۱۸۶ کیلوگرم در مترمکعب مشاهده شد. همچنین کاهش ۱۵٪، ۳۰٪ و ۴۵٪ میزان آب آبیاری سبب کاهش صفت تعداد گل (۲۵/۷٪، ۳۲/۸٪، ۵۴/۳٪) و بهره‌وری فیزیکی مصرف آب (۱۸/۸٪، ۲۱/۵٪ و ۲۴/۲٪) شد. بیشترین میزان وزن خشک گل، ریشه و شاخه جانبی به ترتیب با ۰/۲۹، ۰/۵ و ۰/۷۴ گرم در بوته در تیمار آبیاری مغناطیسی به میزان ظرفیت زراعی مشاهده شد. با توجه به نتایج به دست آمده، اعمال میدان مغناطیسی ۰/۶ تسلا در شرایط تنش آبی، سبب بهبود عملکرد گل و بهره‌وری مصرف آب شده و تیمار آبیاری بهینه این گیاه در شرایط گلدانی آبیاری مغناطیسی به میزان ظرفیت زراعی است. به‌رحال برای کاربرد این تنش‌ها در سطح مزرعه، نیاز به پژوهش‌های بیشتری است.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری فیزیکی آب، تابع تولید، تنش خشکی، عملکرد گل، میدان مغناطیسی

با توجه به رشد روزافزون جمعیت در کشور نیاز به افزایش تولید محصولات کشاورزی امری بدیهی است (رستگار و همکاران، ۱۳۹۴)؛ به همین دلیل تقاضا برای منابع محدود زمین نیز افزایش یافته است (علی اکبری و زند پارسا، ۱۳۹۶). در میان این منابع، آب مهم‌ترین نهاده و عمده‌ترین عامل محدود کننده تولید در سامانه‌های کشاورزی و به‌ویژه کشور ایران است و همواره بخشی از خلأ عملکرد در هر کشور به دلیل بروز تنش‌های خشکی است (محمودی و همکاران، ۱۳۹۵). از طرفی با توجه به وقوع خشکسالی‌های متوالی در سال‌های گذشته و اثرات نامطلوبی که بر میزان تولید محصولات کشاورزی بر جای گذاشته است، بایستی استفاده اصولی از کلیه منابع آب موجود و در دسترس و ارتقای بهره‌وری آب در بخش کشاورزی (با مصرف بیش از ۹۰ درصد از منابع آب) با هدف تقلیل اثرات زیان‌بار خشکسالی مورد توجه قرار گیرد (جمالی و انصاری، ۱۳۹۸ الف؛ توپاک^۱ و همکاران، ۲۰۱۶). از این رو در این پژوهش به بررسی روش‌هایی برای بهبود در بهره‌وری مصرف آب و کاهش اثرات منفی تنش‌های محیطی (مانند تنش خشکی) پرداخته شده است. در ذیل برخی از پژوهش‌هایی که در این زمینه انجام شده، ارائه شده است.

در پژوهشی که بر روی گیاه همیشه بهار رقم *Gianta* انجام شد، نتایج نشان داد که آبیاری پس از تخلیه رطوبت قابل دسترس خاک به میزان ۶۰ و ۸۵ درصد منجر به بهبود در کارایی مصرف آب به میزان ۱۳/۰ و ۷/۰ درصد شد (زرین‌آبادی^۲ و همکاران، ۲۰۱۹ الف). نتایج پژوهش خسروی‌شکیب و همکاران (۲۰۱۹) نشان داد که آبیاری به میزان ۶۰ و ۴۰ درصد آب قابل دسترس در گیاه همیشه بهار منجر به تغییراتی در تعداد گل (به ترتیب ۱۲/۵- و ۲۸/۱- درصد)، وزن خشک اندام هوایی (به ترتیب ۱۵/۲- و ۲۷/۵- درصد)، وزن خشک ریشه (۱۷/۳+ و ۰/۰ درصد) و کارایی مصرف آب (به ترتیب ۵۴/۴+ و ۱۰/۶+ درصد) شد (لازم به

ذکر است که +، - و صفر به ترتیب بیانگر افزایش، کاهش و بدون تغییر بودن صفت نسبت به تیمار شاهد است). ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۶) به منظور بررسی اثر تنش خشکی بر روی گیاه همیشه بهار نشان دادند که اعمال تنش خشکی متوسط و شدید منجر به کاهش وزن خشک گیاه به میزان ۹/۴ و ۴۶/۲ درصد شد. همچنین اعمال تنش شدید و متوسط در طول دوره رشد منجر به کاهش عملکرد گل شده است. در پژوهشی دیگر اثر دوره‌های مختلف آبیاری (۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ روز) بر روی گیاه همیشه بهار مورد آزمایش قرار گرفت و نتایج نشان داد که اعمال آبیاری در دوره‌های آبیاری ۱۰، ۱۵ و ۲۰ روز نسبت به تیمار شاهد پنج روز منجر به تغییراتی در وزن خشک گل به میزان ۰/۸+، ۲۱/۶- و ۴۴/۹- درصد شد (لازم به ذکر است که علائم + و - به ترتیب بیانگر افزایش و کاهش صفت نسبت به تیمار شاهد است) (پیرمانی و همکاران، ۱۳۹۸). مولایی و همکاران (۱۳۹۶) اثر رژیم‌های مختلف آبیاری (۱۰۰، ۶۶ و ۳۳ درصد نیاز آبی) را بر روی گیاه همیشه بهار مورد بررسی قرار داده و نشان دادند که اعمال تنش خشکی منجر به کاهش معنی‌دار در ارتفاع، وزن خشک اندام هوایی و تعداد گل در سطح احتمال ۵ درصد می‌شود. نتایج پژوهش پورقاسمیان و مرادی (۱۳۹۶) حاکی از اثر منفی و معنی‌دار سطوح مختلف تنش خشکی بر وزن تر و خشک گیاه و ارتفاع است. در پژوهشی دیگر اثر سطوح مختلف کم‌آبیاری بر گیاه همیشه بهار مورد بررسی قرار گرفته و نتایج نشان‌دهنده اثر منفی این تنش بر ارتفاع و عملکرد گل شد (جعفرزاده و همکاران، ۱۳۹۲). بهرام‌پور و همکاران (۱۳۹۸) نشان دادند که افزایش تنش آبی بر روی گیاه همیشه بهار اثر منفی و معنی‌دار داشته، به طوری که افزایش تنش منجر به کاهش ارتفاع، تعداد برگ و وزن تر و خشک اندام هوایی شد.

در پژوهشی صفات تعداد گل، تعداد برگ و سطح برگ گیاه همیشه بهار در اثر استفاده از آب مغناطیسی در آبیاری این گیاه در سطح احتمال یک درصد و وزن تر و

در شرایط گلخانه‌ای با سه تکرار در گلدان (با ارتفاع ۲۰ و قطر ۱۵ سانتی‌متری) در تابستان ۱۳۹۸ در دانشگاه فردوسی مشهد اجرا شد. گلخانه مذکور دارای موقعیت جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۶ دقیقه عرض شمالی، ۵۹ درجه و ۳۸ دقیقه طول شرقی و ۹۵۸ متر ارتفاع از سطح دریا اجرا شد. تیمارهای مورد بررسی در این پژوهش شامل چهار سطح آبیاری (۱۰۰، ۸۵، ۷۰ و ۵۵ درصد ظرفیت زراعی) و دو نوع آب (آب معمولی و آب مغناطیسی ۰/۶ تسلا) بود. لازم به ذکر است که در خرداد ۱۳۹۸ برای برآورد صحت اندازه‌گیری رطوبت با دستگاه مورد استفاده در این پژوهش آزمایشی در گلخانه مذکور با شش گلدان (با ابعاد ۱۵ سانتی‌متر قطر و ۲۰ سانتی‌متر ارتفاع) که از خاک مورد استفاده در این پژوهش پر شده بود، اجرا شد (قبل از انجام آزمایش کل خاک مورد استفاده در آزمایش در آن و در دمای ۱۰۵ درجه و به مدت ۲۴ ساعت خشک گردید). در این پژوهش به مدت یک ماه از سه نقطه (که با لوله‌هایی که به صورت مثلثی در گلدان تعبیه شده بود) در هر تکرار داده‌برداری با استفاده از دستگاه TDR مذکور انجام شد. لازم به ذکر است که گلدان‌های مورد استفاده جهت تعیین رطوبت خاک با استفاده از فویل آلومینیومی پوشیده شده بود. در انتها میانگین سه برداشت به‌عنوان داده هر یک از گلدان‌ها در هر بار داده‌برداری یادداشت شد. برای کنترل دقت دستگاه مذکور در بافت سیلتی رسی از روش وزنی استفاده کرده و برای اندازه‌گیری رطوبت وزنی نمونه‌ها در هر روز، گلدان‌ها توزین و تغییرات میزان آب خاک گلدان‌ها، اندازه گرفته شد. برای این منظور، با توجه به کاهش رطوبت گلدان‌ها به‌صورت هوا خشک و تا زمان رسیدن وزن گلدان به میزانی که آب در حد تخلیه مجاز رطوبتی^۲ برای گیاه همیشه بهار (MAD^۳) در آن وجود داشت، گلدان‌ها توزین شدند (زرین‌آبادی و همکاران، ۲۰۱۹ ب). در تاریخ ۱۵ تیر ۱۳۹۸ نشاهای گل همیشه بهار به گلدان‌های مذکور منتقل شده و در هر گلدان تراکم بوته

خشک برگ در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (قناویزچی و همکاران، ۱۳). از آب مغناطیسی در آبیاری گیاه همیشه بهار توسط حسن (۲۰۱۴) استفاده شده و اعمال آب مغناطیسی در آبیاری این گیاه بر روی طول برگ، وزن خشک ریشه، طول و قطر ریشه اثر مثبت و معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد داشت. استفاده از آب مغناطیسی برای آبیاری گیاه همیشه بهار نشان داد که اعمال میدان‌های مغناطیسی (۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰ گاوس) بر روی وزن تر و خشک اندام هوایی، ارتفاع، تعداد برگ، تعداد گل و قطر گل اثری مثبت و معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد داشته است (سافانا، ۲۰۱۷). با توجه به خشکسالی‌های اخیر و منابع آب شیرین محدود در کشور، نیاز به تکنیک‌هایی برای استفاده حداکثری از آب در دسترس حس می‌شود که از این روش‌ها برای به حداکثر رساندن بهره‌وری مصرف آب می‌توان به کم‌آبیاری اشاره کرد. از طرفی مغناطیس کردن آب نیز به‌عنوان روشی برای کاهش اثر منفی کم‌آبیاری در این پژوهش مورد استفاده قرار خواهد گرفت. از آنجایی‌که گیاه دارویی همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.) جهت اهداف داروسازی و مصارف صنایع غذایی استفاده می‌شود، کشت این گیاه از لحاظ اقتصادی به دلیل اهمیت آن در مصارف دارویی دارای اهمیت است. از این رو پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر آبیاری با آب معمولی و مغناطیس شده بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی همیشه بهار (که دارای خواص دارویی بسیار ارزشمندی است) در شرایط تنش خشکی اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر سطوح مختلف آب آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه گل همیشه بهار (رقم *Gitana*) در شرایط استفاده از آب مغناطیسی پژوهشی به‌صورت فاکتوریل دو عاملی در قالب طرح کاملاً تصادفی

^۲-Maximum allowable depletion

^۱-Safana

^۳-که از قبل این عدد برابر با ۳/۳ کیلوگرم برای گلدان‌های مورد استفاده به‌دست آمده بود.

ریل جهت جا به جایی آهنربا در داخل یک جعبه چوبی نصب گردید (متانت، ۱۳۹۷؛ جمالی و همکاران، ۱۴۰۰). سامانه مذکور دارای دو منبع بوده که یکی برای آب ورودی و دیگری برای آب پس از عبور از میدان مغناطیسی است که با پمپ آب عبوری از دستگاه به درون این منبع منتقل شده و با شیر خروجی که در این منبع تعبیه شده است، آب مغناطیسی مرتبط با هر یک از تیمارهای مورد بررسی قابل برداشت بود (شکل ۱). منبع تولید میدان مغناطیسی مورد استفاده در این سامانه دارای ضامن بوده و برای شدت میدان‌های مختلف قابل تنظیم است، در این پژوهش تنها از حداکثر میدان تولید شده توسط دستگاه (۰/۶ تسلا) استفاده شد. خصوصیات شیمیایی آب مورد استفاده در این پژوهش در جدول (۲) ارائه شده است. در مرحله داشت برای مقابله با آفت شته و مگس سفید پنج مرحله سمپاشی با سموم دورسبان و کنفیدور به صورت دوره‌ای و با غلظت یک در هزار حجمی انجام شد. در این مرحله برای مقابله با علف‌های هرز طی دو مرحله و به صورت مکانیکی علف‌های هرز برداشت شد، همچنین در این پژوهش طی سه مرحله کود دهی با کود NPK با نسبت‌های ۲۰:۲۰:۲۰ اعمال شد.



شکل ۱- شماتیک سامانه مورد استفاده جهت مغناطیسی کردن آب (متانت، ۱۳۹۷)

یک گیاهچه بوده و تا زمان استقرار کامل گیاهان در خاک آبیاری با آب چاه و به میزان ۱۰۰ درصد نیاز آبی انجام شد. لازم به ذکر است که مراحل فنولوژیکی گیاه در این مطالعه که شامل سبز شدن، پنجه دهی و تشکیل ساقه، گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیکی بود، به ترتیب ۷، ۴۵، ۸۵ و ۱۱۸ روز پس از کشت بود. در تاریخ ۲۵ تیر ۱۳۹۸ تیمارهای آبیاری بر روی گیاهان اعمال شد. برای تعیین میزان آب آبیاری در این طرح از روش وزنی استفاده (خراسانی‌نژاد^۱ و همکاران، ۲۰۱۸). پس از مشخص شدن درصد وزنی رطوبت خاک در ظرفیت زراعی مزرعه، میزان رطوبت موجود در خاک برای اعمال تیمارهای رطوبتی مختلف مشخص شده و با قرائت روزانه دستگاه TDR^۲ زمان آبیاری تعیین شد (جدول ۱) (جمالی و همکاران، ۱۳۹۸ ب). برای اعمال میدان مغناطیسی از دستگاهی که در دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد ساخته شده بود، استفاده شده است. جهت ساخت دستگاه مغناطیس کننده سیالات از دو قطعه آهنربای مکعبی با ابعاد ۱۰۰*۵۰*۴۰ میلی‌متر با قدرت اسمی ۱/۴ تسلا (که میدان مغناطیسی با قدرت واقعی ۰/۶ تسلا را تولید می‌کند) استفاده شد. بدین صورت که دو قطعه آهنربا به کمک دو پایه نگهدارنده از جنس پلاستیک فشرده و یک



^۲- دستگاه مورد استفاده ساخت شرکت Lutron تایوان بوده دارای یک سنسور است

^۱-Khorasaninejad

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

| بافت خاک | شن | سیلت | رس | چگالی ظاهری | ظرفیت زراعی | هدایت الکتریکی | pH |
|-----------|----|------|----|-------------|-------------|----------------|------|
| | | | | | | | |
| سیلتی رسی | ۸ | ۵۰ | ۴۲ | ۱/۴۷ | ۳۸/۲ | ۱/۲۵ | ۷/۸۵ |

جدول ۲- خصوصیات شیمیایی آب آبیاری مورد استفاده

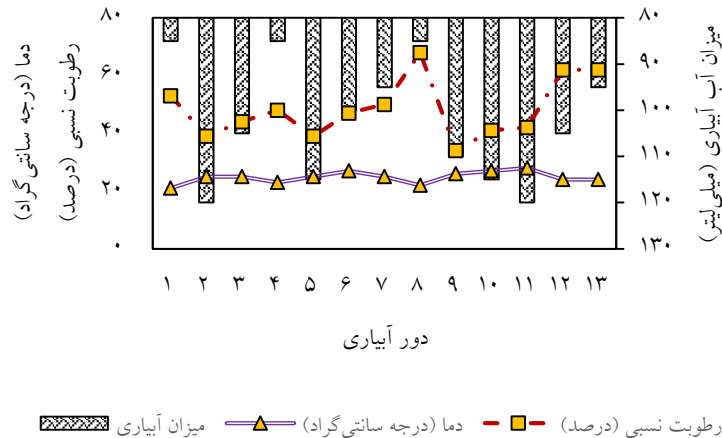
| ترکیبات شیمیایی | | | | | | | | | | کیفیت آب |
|-----------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------|---------------|--------------|---------------|---------------|------|----------|
| pH | EC ₂₅ (dS/m) | HCO ₃ (meq/L) | SO ₄ (meq/L) | Mg (meq/L) | Ca (meq/L) | K (meq/L) | Na (meq/L) | Cl (meq/L) | SAR | |
| ۸/۲ | ۱/۲۳ | ۷ | ۰/۷ | ۲/۸ | ۴/۴ | ۰/۴۸ | ۰/۲۷ | ۱ | ۲/۷۱ | آب چاه |

استفاده شد (روابط ۵-۹) (جمالی و همکاران، ۱۳۹۸ ب؛ پیری، ۱۳۹۶؛ علیزاده و عباسی، ۱۳۹۵) که در آن \bar{Y}_1 مقادیر عملکرد محاسبه شده، \bar{Y} عملکرد متوسط، \bar{A} متوسط آب مصرفی و n تعداد مشاهدات است. پس از به دست آوردن توابع تولید برای ارزیابی هر یک از آنها از شاخص‌های آماری $RMSE$ ، EF ، ME ، CRM و R^2 استفاده شد. هر یک از توابع تولید مورد استفاده به صورت جداگانه مورد ارزیابی قرار گرفته و برای هر مشخصه آماری رتبه در نظر گرفته شد، به طوری که برای CRM ، $RMSE$ و ME مقادیر کمتر رتبه یک و به ترتیب مقادیر بیشتر رتبه‌های بالاتر را اخذ کردند، ولی در مشخصه‌های EF و R^2 توابعی که دارای بیشترین مقادیر بودند رتبه یک و به ترتیب مقادیر کمتر رتبه‌های دیگر را به خود اختصاص دادند. تجزیه و تحلیل داده‌ها (تجزیه واریانس و مقایسه میانگین به روش LSD) با استفاده از نسخه ۹/۴ نرم افزار SAS و ترسیم نمودارها با استفاده از نرم افزار $Excel$ و $Minitab 19$ انجام شد.

در جدول ۳ میزان آب آبیاری در هر یک از تیمارهای مورد بررسی در کل دوره رشدی گیاه ارائه شده است. دمای هوا، رطوبت نسبی گلخانه و میزان آب آبیاری در هر دوره در شکل (۲) ارائه شده است. تاریخ ۲۰ شهریور ۱۳۹۸ گیاهان کف‌بری شده و صفاتی نظیر وزن خشک شاخه جانبی، برگ، ساقه، گل و ریشه؛ ارتفاع، تعداد گل، شاخه جانبی و برگ برداشت شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک قسمت‌های مختلف گیاهی را در پاکت‌های مخصوص قرار داده و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد خشک شد. برای اندازه‌گیری ارتفاع بوته از خط کش استفاده شد. بهره‌وری مصرف آب نیز با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد. پس از تعیین عملکرد برای تعیین تابع تولید از توابع تولید خطی، درجه دوم و لگاریتمی (روابط ۲-۴) استفاده شد؛ که در آن Y بیانگر عملکرد در واحد سطح (Kgm^{-2}) و I میزان آب مصرفی (میلی‌لیتر) است. برای ارزیابی توابع مذکور و تعیین تابع تولید بهینه از شاخص‌های آماری $RMSE$ ، R^2 ، CRM ، ME و EF

جدول ۳- میزان آب مورد استفاده تیمارهای مختلف در کل دوره رشدی گیاه

| تیمار | +۵۵ FC | +۷ FC | +۸۵ FC | FC |
|-----------------------------|--------|-------|--------|------|
| میزان آب آبیاری (میلی‌لیتر) | ۷۳۴ | ۹۳۵ | ۱۱۳۵ | ۱۳۳۵ |



شکل ۲- تغییرات دما، رطوبت نسبی و میزان آب آبیاری در طول دوره رشد گیاه همیشه بهار در شرایط گلخانه‌ای

رسی، ضریب تبیین ۰/۸۲ است. مطابق با شکل (۳) در بافت سیلتی رسی رطوبت اندازه‌گیری شده با استفاده از TDR در تمامی محدوده رطوبتی اندازه‌گیری شده نسبت به روش حجمی دارای میزان بیشتری در شرایط آبیاری با آب چاه است. در این بافت خاک و در شرایط آبیاری با آب چاه در برخی از نقاط مقادیر اندازه‌گیری شده توسط دستگاه رطوبت ۵۰ درصدی را نشان می‌دهد که دلیل آن می‌تواند اندازه‌گیری پس از زمان آبیاری و در روز آبیاری باشد. بر اساس جدول تجزیه واریانس صفات رشدی و عملکردی گیاه همیشه بهار تحت سطوح مختلف آبیاری و استفاده از آب مغناطیسی نشان داد که سطوح مختلف آبیاری بر تمامی صفات (به جز بهره‌وری فیزیکی آب که در سطح پنج درصد معنی دار شده بود) در سطح احتمال یک درصد ($P < 0.01$) معنی دار شد (جدول ۴). همچنین نتایج مطابق جدول (۴) نشان داد که آب مغناطیسی نیز بر روی وزن خشک شاخه جانبی و گل؛ تعداد گل و بهره‌وری فیزیکی آب در سطح احتمال یک درصد ($P < 0.01$) و بر وزن خشک ساقه گلدار و برگ؛ تعداد برگ و شاخه جانبی در سطح احتمال پنج درصد ($P < 0.05$) معنی دار شد. اثر متقابل تیمارهای مورد بررسی نیز بر تعداد برگ در سطح احتمال یک درصد ($P < 0.01$) و بر وزن خشک ریشه، گل و ساقه گلدار در سطح احتمال پنج درصد ($P < 0.05$) معنی دار شد (جدول ۴).

$$\text{عملکرد} = \frac{\text{بهره‌وری فیزیکی مصرف آب}}{\text{میزان آب مصرفی}} \quad (1)$$

$$Y = a_0 + a_1 I \quad (2)$$

$$Y = a_0 + a_1 I + a_2 I^2 \quad (3)$$

$$Y = a_0 + a_1 \ln(I) \quad (4)$$

$$nRMSE = \sqrt{\frac{\sum(\bar{Y}_i - Y_i)^2}{n}} \left(\frac{100}{\bar{Y}}\right) \quad (5)$$

$$ME = \text{MAX} |Y_i - \bar{Y}_i| \quad (6)$$

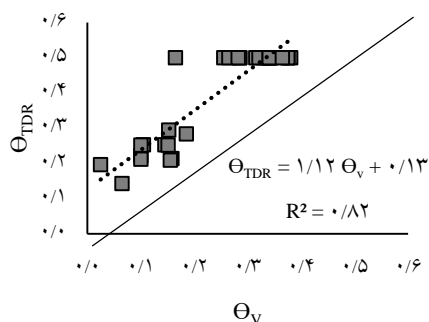
$$CRM = \frac{\sum Y_i - \sum \bar{Y}_i}{\sum Y_i} \quad (7)$$

$$R^2 = \frac{(\sum(I-\bar{I})(Y-\bar{Y}))^2}{\sum(I-\bar{I})^2 \sum(Y-\bar{Y})^2} \quad (8)$$

$$EF = \frac{\sum Y_i - \sum \bar{Y}_i}{\sum Y_i} \quad (9)$$

نتایج و بحث

در شکل ۳ مقادیر رطوبت به روش حجمی و دستگاه TDR اندازه‌گیری شده برای بافت خاک سیلتی رسی در شرایط آبیاری با آب چاه نشان داده شده است. برای تعیین همسانی بین روش حجمی و استفاده از TDR مطابق شکل (۳) مقادیر رطوبت حجمی در مقابل رطوبت اندازه‌گیری شده با استفاده از دستگاه مذکور ترسیم شده و برای بیان تغییرات واریانس مقادیر محاسبه شده با دستگاه و روش حجمی از ضریب تبیین (R^2) استفاده شد. شکل (۲) نشان می‌دهد که میزان انحراف از خط ۱:۱ و مقادیر اندازه‌گیری شده بین دو روش در خاک با بافت سیلتی



شکل ۳- مقایسه بین رطوبت با استفاده از TDR در مقابل روش حجمی برای بافت سیلتی رسی

۵۵ درصد ظرفیت زراعی و در صفت بهره‌وری فیزیکی مصرف آب بین تیمارهای ۸۵، ۷۰ و ۵۵ درصد ظرفیت زراعی در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD در مقایسه میانگین‌ها تفاوتی مشاهده نشد. استفاده از آب مغناطیسی در آبیاری گل همیشه بهار سبب افزایش در صفت‌ها و بهره‌وری فیزیکی مصرف آب به میزان ۱۹/۲، ۱۵/۴، ۳۸/۱، ۱۵/۸ و ۳۸/۴ درصد شد. بر اساس نتایج شکل (۴) بیشترین میزان از وزن خشک گل، ریشه و شاخه جانبی به ترتیب با ۰/۲۹، ۰/۵ و ۰/۷۴ گرم در بوته در تیمار آب مغناطیسی + آبیاری به میزان ظرفیت زراعی مشاهده شد؛ همچنین کمترین میزان از این صفت‌ها نیز به ترتیب با ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۲۶ گرم در بوته در تیمارهای آب معمولی + آبیاری به میزان ۰/۵۵ درصد ظرفیت زراعی، آب مغناطیسی + آبیاری به میزان ۰/۵۵ درصد ظرفیت زراعی و آب معمولی + آبیاری به میزان ۰/۵۵ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد. نتایج نشان داد که استفاده از آب مغناطیسی در شرایط اعمال تنش آبی منجر به کاهش اثر منفی کم‌آبیاری شد که دلیل آن می‌تواند بهبود در جذب آب توسط ریشه به دلیل انحلال بهتر املاح در آب باشد. بر اساس نتایج شکل (۵) بیشترین و کمترین میزان از تعداد برگ به ترتیب با ۲۶/۳ و ۱۰ عدد در تیمارهای آب مغناطیسی + آبیاری به میزان ظرفیت زراعی و آب معمولی + آبیاری به میزان ۰/۵۵ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد (لازم به ذکر است که اعداد میانگین سه تکرار است).

نتایج تخمین توابع تولید عملکرد- آب مصرفی به صورت توابع خطی، درجه دو و لگاریتمی در شکل (۶)

مطابق جدول (۵) که بیانگر مقایسه میانگین‌های صفت‌ها ساده کم‌آبیاری و آب مغناطیسی بر روی صفت‌ها است، بیشترین میزان وزن خشک برگ و ساقه گلدار، تعداد گل، تعداد برگ و شاخه جانبی، ارتفاع و بهره‌وری فیزیکی مصرف آب در تیمار آبیاری به میزان ظرفیت زراعی و به ترتیب با ۱/۷۷ و ۰/۳۷ گرم در بوته، هفت و شش عدد، ۱۸/۴ سانتی‌متر و ۰/۱۸۶ کیلوگرم در متر مکعب مشاهده شد. همچنین بر اساس نتایج جدول (۵) کمترین میزان از صفت‌ها و بهره‌وری فیزیکی مصرف آب در تیمار آب مغناطیسی + آبیاری به میزان ۰/۶۷ و ۰/۱۹ گرم در بوته، ۳/۲ و ۲/۸ عدد، ۱۵/۷ سانتی‌متر و ۰/۱۴۱ کیلوگرم در متر مکعب در تیمار ۰/۵۵ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد. کاهش ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درصدی میزان آب آبیاری منجر به کاهش در صفت‌ها و وزن خشک برگ (به ترتیب با ۲۸/۸، ۵۰/۸ و ۶۲/۱ درصد)، وزن خشک ساقه گلدار (به ترتیب با ۱۰/۸، ۳۵/۱ و ۴۸/۶ درصد)، تعداد گل (به ترتیب با ۲۵/۷، ۳۲/۸ و ۵۴/۳ درصد)، تعداد شاخه جانبی (به ترتیب با ۱۳/۳، ۲۸/۳ و ۵۳/۳ درصد)، ارتفاع (به ترتیب با ۳/۸، ۱۱/۴ و ۱۴/۷ درصد) و بهره‌وری فیزیکی مصرف آب (به ترتیب با ۱۸/۸، ۲۱/۵ و ۲۴/۲ درصد) شد. بر اساس جدول (۵) در صفت‌ها و بهره‌وری فیزیکی مصرف آب در تیمارهای آبیاری به میزان ظرفیت زراعی و ۸۵ درصد ظرفیت زراعی، در صفت‌ها و بهره‌وری فیزیکی مصرف آب در تیمارهای آبیاری به میزان ۷۰ و ۸۵ درصد ظرفیت زراعی، در صفت‌ها و بهره‌وری فیزیکی مصرف آب در تیمارهای آبیاری به میزان ۷۰ و ۸۵ درصد ظرفیت زراعی و بین تیمارهای ۷۰ و

ارائه شده است. بر اساس نتایج جدول (۶)، رابطه خطی ساده بهترین برازش را به میزان آب مصرفی و عملکرد کل گیاه همیشه بهار نشان داده است و پس از آن استفاده از تابع لگاریتمی بهترین تابع است. نتایج این پژوهش با نتایج جمالی و همکاران (۱۳۹۸ ب) بر روی کینوا، یزدانی و همکاران (۱۳۹۳) بر روی کلزا و جورونی و همکاران (۱۳۹۶) بر روی ذرت مطابقت داشت. در شرایط اعمال کم‌آبیاری و استفاده از میدان‌های مغناطیسی جهت آبیاری این گیاه تابع $Y = -1.32 + 0.0034 I + 0.601 MW$ بهترین برازش را بر روی داده‌ها نشان داده است. با توجه به شکل (۷) با افزایش میزان آب آبیاری عملکرد کل افزایش یافته است. شکل (۷) نشانگر این است که در شرایط اعمال کم‌آبیاری در صورت استفاده از آب مغناطیسی بر میزان عملکرد کل افزوده می‌شود، یا به عبارت دیگر در شرایط کم‌آبیاری استفاده از میدان‌های مغناطیسی از اثر منفی این تنش می‌کاهد. در شرایط آبیاری کامل استفاده از میدان‌های مغناطیسی (۰/۲ و ۰/۴ تسلا) شیب صعودی تغییرات

عملکرد نسبت به میدان ۰/۶ تسلا کمتر است. نتایج نشان داد کاهش فراهمی آب و مواد غذایی برای جذب توسط ریشه گیاه در شرایط کاهش میزان آب آبیاری، خود عاملی برای کاهش در صفت عملکرد گل بوده است و از طرفی کاهش تعداد گل در این شرایط خود عاملی مضاعف بر کاهش عملکرد گل است، البته لازم به ذکر است که اعمال میدان‌های مغناطیسی سبب کاهش اثر منفی کم‌آبیاری بر روی عملکرد و تعداد گل همیشه بهار شده و در شرایط اعمال تنش عملکرد گل را بهبود بخشیده است. در شرایط اعمال تنش‌های آبی گیاه، یک سازش مورفولوژیکی برای اجتناب از خشکی، انتشار مجدد مواد غذایی در گیاه و کاهش تعرق انجام داده و با انباشتگی میزان اتیلن در برگ از سطح برگ خود کاسته تا کمبود آب موجود تعدیل شود (برگ‌های مسن‌تر به دلیل انباشتگی اتیلن خشک می‌شود) و در پی آن از تعرق گیاه نیز کاسته می‌شود (پورقاسمیان و مرادی، ۱۳۹۶؛ دول و وینکس^۱، ۲۰۰۵).

جدول ۴- تجزیه واریانس صفات رشدی و عملکردی گیاه همیشه بهار

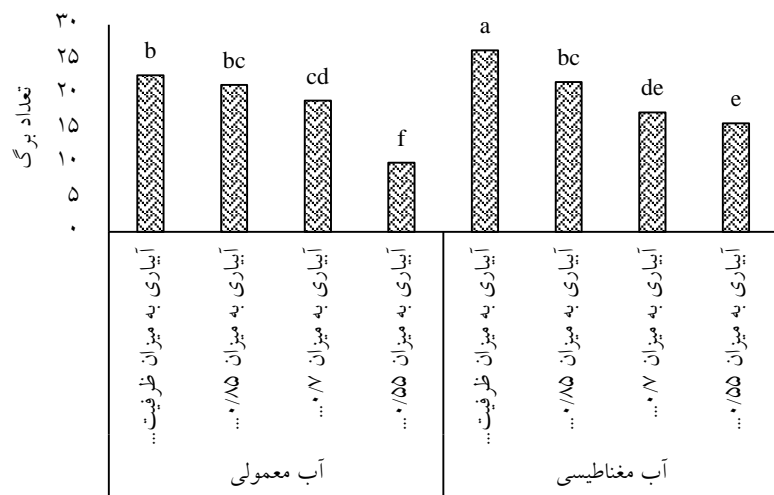
| منابع تغییرات | درجه آزادی | میانگین مربعات | | | | | | | | | |
|-------------------------|------------|--------------------|-------------|--------------|--------------|------------|------------------|----------|-----------|---------|--------------------|
| | | وزن خشک شاخه جانبی | وزن خشک برگ | وزن خشک ریشه | وزن خشک ساقه | وزن خشک گل | تعداد شاخه جانبی | تعداد گل | تعداد برگ | ارتفاع | بهره‌وری فیزیکی آب |
| کم آبیاری | ۳ | ۰/۱۷** | ۱/۴۳** | ۰/۰۵** | ۰/۰۳۹** | ۰/۰۲۳** | ۱۵** | ۱۰/۹** | ۱۴۹/۹** | ۹** | ۰/۰۰۲* |
| آب مغناطیسی | ۱ | ۰/۰۵** | ۰/۲۳* | ۰/۰۰۲ ns | ۰/۰۰۹* | ۰/۰۱۸** | ۱۶/۷** | ۲/۶۷* | ۲۴* | ۰/۱۵ ns | ۰/۰۱۵** |
| کم آبیاری × آب مغناطیسی | ۳ | ۰/۰۱* | ۰/۰۶ ns | ۰/۰۱* | ۰/۰۰۲ ns | ۰/۰۱۵* | ۱/۴ ns | ۰/۵۶ ns | ۱۶/۲** | ۰/۵۸ ns | ۰/۰۰۱ ns |
| خطا | ۱۶ | ۰/۰۰۲ | ۰/۰۳ | ۰/۰۰۳ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۰۴ | ۰/۵ | ۰/۴۲ | ۲/۹ | ۰/۳۳ | ۰/۰۰۰۳ |
| ضریب تغییرات | | ۱۰/۵ | ۱۴/۸ | ۱۵/۴ | ۱۳/۸ | ۱۲/۳ | ۱۴/۱ | ۱۴/۱ | ۸/۸ | ۳/۴ | ۱۱/۴ |

**، * و ns به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و عدم معنی‌داری است

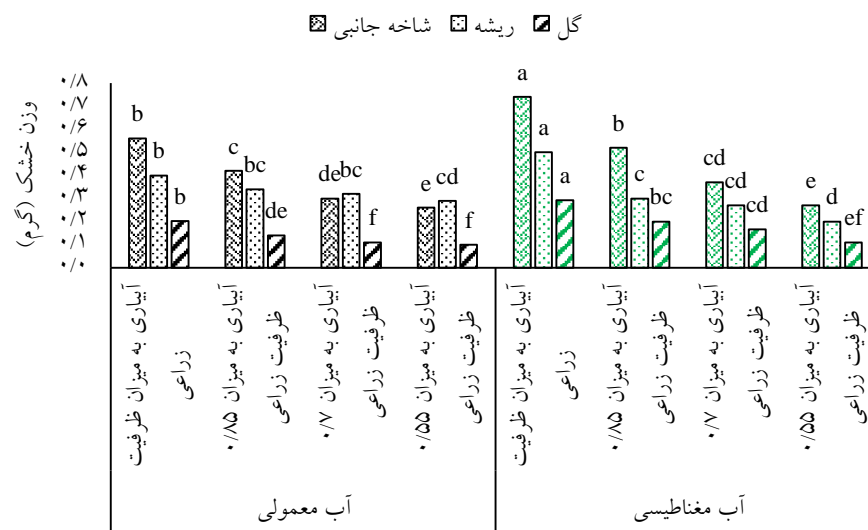
جدول ۵- تغییرات صفات رشدی و عملکردی گیاه همیشه بهار تحت تیمارهای مورد بررسی

| ترکیبات تیماری | وزن خشک برگ | وزن خشک ساقه | تعداد گل‌ها | تعداد شاخه جانبی | ارتفاع | بهره‌وری فیزیکی آب |
|----------------------------------|-------------|--------------|-------------|------------------|-----------|---------------------|
| | گرم در بوته | | | | سانتی‌متر | کیلوگرم در متر مکعب |
| آبیاری به میزان ظرفیت زراعی | ۱/۷۷ a | ۰/۳۷ a | ۷ a | ۶ a | ۱۸/۴ a | ۰/۱۸۶ a |
| آبیاری به میزان ۰/۸۵ ظرفیت زراعی | ۱/۲۶ b | ۰/۳۳ a | ۵/۲ b | ۵/۲ b | ۱۷/۷ a | ۰/۱۵۱ b |
| آبیاری به میزان ۰/۷ ظرفیت زراعی | ۰/۸۷ c | ۰/۲۴ b | ۴/۷ b | ۴/۳ c | ۱۶/۳ b | ۰/۱۴۶ b |
| آبیاری به میزان ۰/۵۵ ظرفیت زراعی | ۰/۶۷ d | ۰/۱۹ c | ۳/۲ c | ۲/۸ d | ۱۵/۷ b | ۰/۱۴۱ b |
| LSD (۰/۰۵) | ۰/۲۱ | ۰/۰۵ | ۰/۹ | ۰/۸ | ۰/۷ | ۰/۰۲ |
| آب معمولی | ۱/۰۴ b | ۰/۲۶ b | ۴/۲ b | ۴/۹۲ a | ۱۶/۹ a | ۰/۱۳ b |
| آب مغناطیسی | ۱/۲۴ a | ۰/۳ a | ۵/۸ a | ۴/۲۵ b | ۱۷/۱ a | ۰/۱۸ a |
| LSD (۰/۰۵) | ۰/۱۵ | ۰/۰۳ | ۰/۶ | ۰/۵۶ | ۰/۵ | ۰/۰۲ |

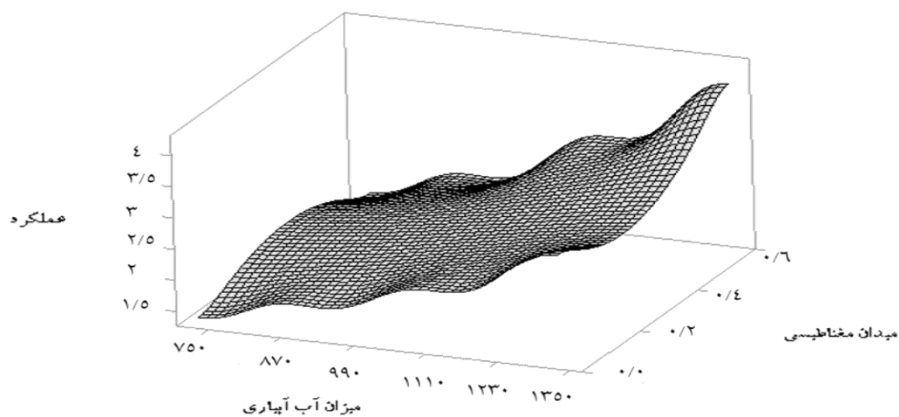
حروف مشترک در ستون‌ها بیانگر عدم معنی‌داری در مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد است



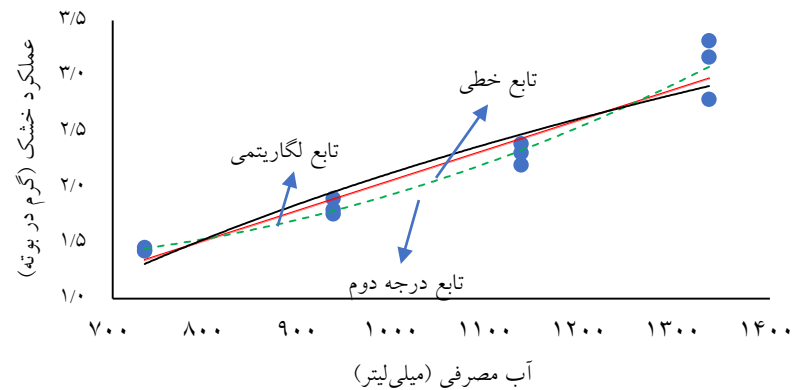
شکل ۵- تغییرات تعداد برگ همیشه بهار در شرایط اعمال تنش آبی و آب مغناطیسی



شکل ۴- تغییرات وزن خشک گل، ریشه و شاخه جانبی گل همیشه بهار در شرایط اعمال تنش آبی و آب مغناطیسی



شکل ۷- تغییرات عملکرد کل نسبت به میزان آب آبیاری و میدان مغناطیسی



شکل ۶- تعیین تابع آب مصرفی-عملکرد گیاه همیشه بهار تحت تنش‌های آبی

همکاران، ۲۰۰۱). کاهش رشد و توسعه سلول‌های ساقه و برگ سبب محدود شدن اندازه اندام و کوچک شدن آن می‌شود که از اولین علائم کمبود آب در گیاهان است و در پی آن شرایط کم‌آبی نسبت به آبیاری کامل گیاهان کوتاه‌تری تولید می‌شود. هزین و عبدالقدوس (۲۰۱۰) معتقدند که استفاده از آب مغناطیسی در آبیاری، هورمون سیتوکینین (به‌عنوان هورمونی برای تقسیم سلولی) را افزایش داده و بهبود در رشد ساقه را به همراه دارد، در این مطالعه نیز استفاده از آب مغناطیسی در شرایط تنش منجر به کاهش اثر منفی آن شده و ارتفاع گیاهان تحت این تیمار نسبت به آب معمولی در شرایط تنش، بهبود یافته است. در شرایط کم‌آبیاری علاوه بر کاهش مواد فتوسنتزی در دسترس اندام هوایی می‌توان کاهش جذب مواد غذایی را نیز از دلایل کاهش ارتفاع و سطح برگ (کاهش اندازه برگ منجر به کاهش تولید شیره پرورده حاصل از فعالیت‌های فتوسنتزی می‌شود) دانست که متعاقب آن عملکرد تر و خشک اندام هوایی را به‌همراه دارد (امیدبگی، ۲۰۰۳؛ عزوز و یوسف^{۱۴}، ۲۰۱۰).

پس از کاهش سطح برگ از مواد فرآوری شده در اثر فتوسنتز در گیاه کاسته شده و در این شرایط از میزان عملکرد و ماده خشک اندام‌های مختلف گیاه نیز کاسته می‌شود (سارکر^{۱۰} و همکاران، ۲۰۰۵). کاهش در سطح برگ و سطح فتوسنتز کننده گیاه عاملی برای کاهش شیره پرورده تولیدی مورد نیاز برای حصول عملکرد حداکثری در گیاه است، به طوری که کاهش تعداد برگ و تعداد شاخه‌های جانبی را به همراه دارد. کاهش در تعداد شاخه جانبی تأثیر منفی بر عملکرد گل دارد، چرا که با کاهش شاخه‌های فرعی تعداد گل و در نتیجه عملکرد گل کاهش می‌یابد. تنش آبی (به‌عنوان یک عامل بازدارنده در رشد) تولید بیشتر آبسزیک اسید را به همراه داشته که کاهش رشد اندام‌های گیاهی را به همراه دارد (بهرام‌پور و همکاران، ۱۳۹۸)، علاوه بر آن کاهش جذب آب و به تبع آن آماس سلولی در بافت‌های مختلف گیاه را به همراه داشته که خود عاملی برای کاهش توسعه سلولی و تولید متابولیت‌های لازم برای تقسیم سلولی در گیاه است (فاروق^{۱۱} و همکاران، ۲۰۰۹؛ اسکالیا^{۱۲} و همکاران، ۲۰۰۹؛ هامرونی^{۱۳} و

جدول ۶- ارزیابی شاخصه‌های آماری توابع تولید عملکرد-آب مصرفی مختلف

| مجموع رتبه‌بندی | شاخص آماری | | | | | تابع تولید | |
|-----------------|------------|----------------|-------------|----------|-----------|--------------------------------------|----------|
| | EF | R ² | CRM | ME | nRMSE | | |
| ۸ | (۲) ۰/۹۲ | (۲) ۰/۹۳ | (۲) ۰/۰۰۷ | (۱) ۰/۱۲ | (۱) ۶/۱ | $Y = ۰/۰۰۳ I - ۰/۶۴۵$ | خطی |
| ۱۳ | (۳) -۱/۹۵ | (۱) ۰/۹۶ | (۳) -۰/۲۳ | (۳) ۰/۲۸ | (۳) ۲۵/۵۷ | $Y = ۰/۰۰۰۰۰۳ I^2 - ۰/۰۰۳ I + ۱/۹۹۱$ | درجه دوم |
| ۹ | (۱) ۰/۹۶ | (۳) ۰/۹۰ | (۱) ۰/۰۰۰۰۳ | (۲) ۰/۱۵ | (۲) ۹/۲۹ | $Y = ۲/۶۷ \ln(I) - ۱۶/۳۲۴$ | لگاریتمی |

اعداد درون پرانتز بیانگر رتبه شاخص آماری در تابع تولید مدنظر است

مریستمی، افزایش جذب و آسمیلاسیون عناصر غذایی، بهبود فعالیت‌های فتوسنتزی و سبب صعود کاپیلاری در مکانیسم انتقال مواد در بافت‌های زنده می‌شود. افزایش ماده خشک گیاهی در راستای افزایش ارتفاع، سطح برگ و قطر ساقه گیاه بوده که با اعمال آب مغناطیسی که خود منجر به افزایش میزان آب در دسترس گیاه، آماس سلولی و بهبود در تقسیم سلولی

مجد و شیرنگی (۲۰۰۹) نیز معتقدند که گیاهان تیمار شده با آب مغناطیسی به دلیل تبادل گازی راحت‌تر نسبت به آب غیرمغناطیسی، آوندهای چوبی و آبکشی رشد و نمو بیشتری داشته و سلول‌های پارانشیم و اتافک زیر روزنه بزرگ‌تری دارند. همچنین ایشان اظهار کردند که میدان مغناطیسی مناسب، باعث تأثیر بر متابولیسم سلول‌های

^{۱۳} -Hamrouni

^{۱۲} -Azooz and Yousswf

^{۱۰} -Sarker

^{۱۱} -Farooq

^{۱۲} -Scalia

وزن خشک برگ (۲۸/۸، ۵۰/۸ و ۶۲/۱ درصد)، وزن خشک ساقه گلدار (۱۰/۸، ۳۵/۱ و ۴۸/۶ درصد)، تعداد گل (۲۵/۷، ۳۲/۸ و ۵۴/۳ درصد)، تعداد شاخه جانبی (۱۳/۳، ۲۸/۳ و ۵۳/۳ درصد)، ارتفاع (۳/۸، ۱۱/۴ و ۱۴/۷ درصد) و بهره‌وری فیزیکی مصرف آب (۱۸/۸، ۲۱/۵ و ۲۴/۲ درصد) شد. رابطه خطی ساده بهترین برازش را بر میزان آب مصرفی و عملکرد کل گیاه همیشه بهار نشان داده و پس از آن استفاده از تابع لگاریتمی بهترین تابع است. همچنین در شرایط اعمال کم‌آبیاری و استفاده از میدان‌های مغناطیسی جهت آبیاری این گیاه تابع $Y = -1.32 + 0.0034 I + 0.601 MW$ بهترین برازش را بر روی داده‌ها داشت. در شرایط کم‌آبیاری استفاده از آب مغناطیسی عبوری از میدان ۰/۶ تسلا از اثر منفی این تنش کاسته است. با توجه به این موضوع که در این پژوهش از حداکثر میدان تولیدی توسط دستگاه مغناطیس کننده سیالات استفاده شده، کاهش میدان مغناطیسی در شرایط آبیاری کامل سبب کم‌شدن اثر مثبت آب مغناطیسی بر روی گیاه شده است. بر اساس نتایج مذکور، اعمال میدان‌های مغناطیسی در شرایط تنش آبی، سبب بهبود در عملکرد گل و بهره‌وری مصرف آب در این گیاه شده و تیمار بهینه جهت آبیاری این گیاه در شرایط کشت گلخانه‌ای و گلدانی تیمار آبیاری مغناطیسی و به میزان FC است. به‌رحال جهت اعمال این تنش‌ها در سطح مزرعه، نیاز به پژوهش‌های بیشتری است و اعمال این تیمارها بر روی این گیاه در منطقه مشهد برای پژوهش‌های آتی توصیه می‌گردد.

می‌شود، اتفاق می‌افتد. افزایش حلالیت آب که با مغناطیس کردن آب منجر و افزایش نظم در آرایش مولکول‌های آب اتفاق می‌افتد که افزایش انحلال کاتیون‌ها و آنیون‌ها را در پی دارد، توسط بلاویسکی (۲۰۰۴) در پژوهشی بیان شده است. افزایش انحلال کاتیون‌ها و آنیون‌ها در آب مغناطیسی فراهمی مواد غذایی و جذب آن را توسط گیاه افزایش می‌دهد؛ همچنین در اثر مغناطیس کردن آب نمک‌های موجود در آب خنثی شده و از تجمع نمک در ناحیه توسعه ریشه کاسته می‌شود. گیاه در مقایسه با آبیاری با آب معمولی در شرایط آبیاری با آب مغناطیس رشد و نمو بهتری دارد (نیکبخت و همکاران، ۲۰۱۳). نتایج این پژوهش در راستای پژوهش‌های خسروی شکیب و همکاران (۲۰۱۹)، زرین‌آبادی و همکاران (۲۰۱۹ الف)، العییدی و همکاران (۲۰۱۹) و آنانتارسلوی و همکاران (۲۰۱۹) بر روی همیشه بهار بود.

نتیجه‌گیری

نتایج به دست آمده در این پژوهش نشان داد که بیشترین میزان وزن خشک برگ و ساقه گلدار، تعداد گل، تعداد برگ و شاخه جانبی، ارتفاع و بهره‌وری فیزیکی مصرف آب در تیمار آبیاری به میزان ظرفیت زراعی و به ترتیب با ۱/۷۷ و ۰/۳۷ گرم در بوته، هفت و شش عدد، ۱۸/۴ سانتی‌متر و ۰/۱۸۶ کیلوگرم در متر مکعب مشاهده شد. همچنین کاهش ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درصدی میزان آب آبیاری سبب کاهش صفت

فهرست منابع

۱. ابراهیمی م، زمانی غ ر و علیزاده ز، ۱۳۹۶. بررسی صفات کیفی و تحلیل عملکرد گل همیشه بهار طی دوره رشد این گیاه در شرایط تنش خشکی. تنش‌های محیطی در علوم زراعی، جلد ۱۰، شماره ۲، صفحه‌های ۲۹۳ تا ۳۰۶.
۲. بهرام‌پور م، دهستانی اردکانی م، شیرمردی م و غلام‌نژاد ج، ۱۳۹۸. تاثیر بسترهای کشت مختلف و نانوکود پتاسیم بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک همیشه بهار زیر تنش خشکی. علوم و فنون باغبانی ایران، جلد ۲۰، شماره ۱، صفحه‌های ۶۵ تا ۷۸.

۳. پورقاسمیان ن و مرادی ر ا، ۱۳۹۶. بررسی اثر تنش خشکی و آسکوربیک اسید بر برخی پارامترهای رشد و بیوشیمیایی در گیاه همیشه بهار. فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۶، شماره ۱۹، صفحه‌های ۷۷ تا ۸۸.
۴. پیرمانی ا، میرمحمودی ت و یزدان‌ستا س، ۱۳۹۸. تأثیر دور آبیاری و مقادیر مختلف کود نیتروژن بر عملکرد، اجزای عملکرد، میزان روغن و اسانس گل همیشه بهار. تنش‌های محیطی در علوم زراعی، جلد ۱۲، شماره ۲، صفحه‌های ۴۴۵ تا ۴۵۷.
۵. پیری ح، ۱۳۹۶. تعیین تابع تولید آب - کود نیتروژن و ارزیابی شاخص‌های تولید پیاز در منطقه زهک سیستان و بلوچستان. مدیریت آب و آبیاری، جلد ۷، شماره ۲، صفحه‌های ۲۸۷ تا ۳۰۳.
۶. جعفرزاده ل، امید ح و بستانی ع، ۱۳۹۲. تأثیر تنش خشکی و کود زیستی بر عملکرد گل، رنگ‌ریزه‌های فتوسنتزی و محتوی پرولین گیاه دارویی همیشه بهار. تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، جلد ۲۹، شماره ۳، صفحه‌های ۶۶۶ تا ۶۸۰.
۷. جمالی ص و انصاری ح، ۱۳۹۸ الف. اثر کیفیت آب و مدیریت آبیاری روی رشد و عملکرد گیاه کینوا. پژوهش آب در کشاورزی، جلد ۳۳، شماره ۳، صفحه‌های ۳۴۱ تا ۳۵۱.
۸. جمالی ص، گلدانی م و زین‌الدین س م، ۱۳۹۸ ب. بررسی اثر تنش آبی دوره ای بر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب گیاه کینوا (رقم NSRQC). آبیاری و زهکشی ایران، جلد ۱۳، شماره ۶، صفحه‌های ۱۶۸۷ تا ۱۶۹۷.
۹. جمالی ص، انصاری ح. و صفری‌زاده ثانی، ۱۳۹۹. تأثیر سطوح مختلف آبیاری و آب مغناطیسی بر رشد و عملکرد گیاه دارویی نعنا فلفلی. پژوهش آب در کشاورزی. جلد ۳۴، شماره ۳، صفحه‌های ۴۳۳ تا ۴۴۷.
۱۰. جورونی ا، عالی‌نژادیان بیدآبادی ا و ملکی ع، ۱۳۹۶. تعیین تابع تولید و پاسخ عملکرد کل ماده خشک و دانه به کم‌آبیاری در گیاه ذرت. مدیریت آب و آبیاری، جلد ۷، شماره ۲، صفحه‌های ۲۴۱ تا ۲۵۶.
۱۱. رستگار س، صادقی لاری ع و سالاری م، ۱۳۹۴. اثر آب مغناطیسی بر جوانه زنی و خصوصیات رشد اولیه بذر گوجه فرنگی. اولین همایش الکترونیکی یافته‌های نوین در محیط زیست و اکوسیستم‌های کشاورزی، پژوهشگاه انرژی‌های نو و محیط زیست دانشگاه تهران.
۱۲. علی اکبری ا و زند پارسا ش، ۱۳۹۶. تأثیر سطوح مختلف آب آبیاری بر رشد و عملکرد درخت پسته در شهرستان انار استان کرمان. علوم و مهندسی آبیاری، جلد ۴۰، شماره ۳، صفحه‌های ۱۲۳ تا ۱۳۶.
۱۳. عزیززاده ح ع و عباسی ف، ۱۳۹۵. بهینه‌سازی مصرف آب و کود در کودآبیاری ذرت دانه‌ای. پژوهش آب در کشاورزی، جلد ۳۰، شماره ۴، صفحه‌های ۴۴۵ تا ۴۵۵.
۱۴. قنایزچی ف، تهرانی‌فرع، کهربائیان م و حلاج‌نیا ا، ۱۳۹۷. بررسی تاثیر آب مغناطیسی بر برخی پارامترهای مورفولوژیکی گل همیشه بهار تحت تنش شوری آب. ششمین کنفرانس بین‌المللی پژوهش‌های کاربردی در علوم کشاورزی، تهران.
۱۵. متانت م، ۱۳۹۷. تأثیر آب مغناطیسی در جهت بهبود آب مصرفی و عملکرد گیاه تربیچه (*Raphanus Sativum*). پایان نامه دوره کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.

۱۶. محمودی ق، قنبری ع، راستگو م، قلی‌زاده م و طهماسبی ا، ۱۳۹۵. بررسی اثر میدان مغناطیسی بر رشد و عملکرد نخود (*Cicer arietinum L.*) در شرایط آب و هوایی مشهد. پژوهش‌های زراعی ایران، جلد ۱۴، شماره ۲، صفحه‌های ۳۸۰ تا ۳۹۱.
۱۷. مولایی ر، اعلائی م، ارغوانی م و نیکبخت ج، ۱۳۹۶. اثر رژیم‌های مختلف آبیاری و اسید سالیسیلیک بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی گیاه همیشه بهار در شرایط اقلیمی زنجان. علوم باغبانی ایران، جلد ۴۸، شماره ۴، صفحه‌های ۹۶۵ تا ۹۷۵.
۱۸. یزدانی و، داوری ک، قهرمان ب و کافی، م، ۱۳۹۳. ارزیابی عملکرد کلزا به صورت تابعی از ارتفاع آب آبیاری و شوری در منطقه مشهد. مهندسی آبیاری و آب ایران، جلد ۵، شماره ۲، صفحه‌های ۳۲ تا ۵۳.
19. Al-Obaid H, Karimian Z, and Tehranifar A, 2019. Application of Superabsorbent and Mulch on Some Traits of African Marigold (*Tagetes erecta*) under Irrigation Intervals. *Journal of Ornamental plants* 9.3: 153-164.
20. Ananthaselvi K, Selvi S T, Subramanian S and Chandrasekhar C N, 2019. Effect of chitosan on growth and yield of African marigold (*Tagetes erecta L.*) under drought-induced stress condition. *International Journal of Chemical Studies* 7.3: 3612-3615.
21. Azooz MM and MM Youssef, 2010. Evaluation of heat shock and salicylic acid treatments as inducers of drought stress tolerance in hassawi wheat. *American Journal of Plant Physiology* 5 (2): 56-70.
22. Belyavskaya NA, 2004. Biological effects due to weak magnetic field on plants. *Advances in Space Research* 34: 1566-1574.
23. Dole JM and Wilkins HF, 2005. Floriculture: Principals and species. Published by Prentice Hall, 595 pp.
24. Farooq M, Wahid A, Kobayashi N, Fujita D and Basra SMA, 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms, and management. *Agronomy for Sustainable Development* 29: 185-212.
25. Hamrouni I, Salah H and Marzouk B, 2001. Effects of water-deficit on oil of safflower aerial parts. INRST, Laboratoire d'adaptation et d'melioration des Plants, BP 95 2050, Hammam-Lif, Tunisia. 95: 21-52.
26. Hassan AZ, 2014. Effect of magnetized irrigation water with different gauss on the growth and mucilage percentage on two varieties of *Calendula officinalis L.* *Journal of Biotechnology Research Center* 8(3): 5-10.
27. Hozayn M and Qados AA, 2010. Magnetic water application for improving wheat (*Triticum aestivum L.*) crop production. *Agriculture and Biology of North America* 1(4): 677-682.
28. Khorasaninejad S, Alizadeh Ahmadabadi A and Hemmati K, 2018. The effect of humic acid on leaf morphophysiological and phytochemical properties of *Echinacea purpurea L.* under water deficit stress. *Scientia Horticulture* 239: 314-323.
29. Khosravi Shakib A, Rezaei Nejad A, Khandan Mirkohi A and Kalate Jari S, 2019. Vermicompost and Manure Compost Reduce Water-Deficit Stress in Pot Marigold (*Calendula officinalis L. cv. Candyman Orange*). *Compost Science and Utilization* 27.1: 61-68.
30. Majd A, and Shabrangi A, 2009. Effect of seed pretreatment by magnetic fields on seed germination and ontogeny growth of agricultural plants. *Progress in Electro-magnetic Research Symposium, Beijing, China, March 23-27.*
31. Nikbakht J, Khande royan M, Tavakoli A and Taheri M, 2013. The effect of low irrigation with magnetic water on yield and water use efficiency of corn. *Journal of Agricultural Research in Water* 27(4): 551-563.

32. Omidbaigi R, Hassani A and Sefidkon F, 2003. Essential oil content and composition of Sweet Basil (*Ocimum basilicum*) at different irrigation regimes. *Journal of Essential Oil-Bearing Plants* 6: 104-108.
33. Safana HS, 2017. Effect of magnetized water and spraying of 0f IBA on the growth and flowering of *Calendula officinalis* L. *Kufa Journal for Agricultural Science* 9(1): 87-103.
34. Sarker, BC, Hara M and Uemura M, 2005. Proline synthesis, physiological responses, and biomass yield of eggplants during and after repetitive soil moisture stress. *Scientia Horticulture* 103: 387-402.
35. Scalia R, Oddo E, Saiano F and Grisafi F, 2009. Effect of salinity a *Puccinellellia distance* (L.) Parl. treated with NaCl and foliar-applied glycine betaine. *Plant Stress* 3: 49-54.
36. Topak R, Acar B, Uyanoz R and Ceyhan E, 2016. Performance of partial root-zone drip irrigation for sugar beet production in a semi-arid area. *Agricultural Water Management* 176: 180-190.
37. Zarrinabadi IG, Razmjoo J, Mashhadi AA and Boroomand A, 2019 a. Physiological response and productivity of pot marigold (*Calendula officinalis*) genotypes under water deficit. *Industrial Crops and Products* 139: 111488.
38. Zarrinabadi IG, Razmjoo J, Mashhadi AA, Karimmojeni H, and Tseng TM, 2019 b. Irrigation effect on yield and desirable metabolites of pot marigold (*Calendula officinalis* L.) genotypes. *Horticulture, Environment, and Biotechnology* 60.4: 467-478.

Investigating the Interaction of Deficit Irrigation and Magnetic Water on Yield, Yield Components, and Water Productivity of Marigold

S. Jamali, H. Ansari¹, and A. Safarizadeh Sani

PhD Candidate, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Mashhad, Iran.

Saber.jamali@mail.um.ac.ir

Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Mashhad, Iran.

Ansary@um.ac.ir

PhD Candidate, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Mashhad, Iran.

Abbas.safarizadehsani@mail.um.ac.ir

Received: May 2022 and Accepted: August 2022

Abstract

To investigate the interaction of magnetic water and deficit irrigation on yield and yield components of marigold, a factorial experiment was conducted in a completely randomized design in the research greenhouse of the Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran, in 2019, using pot culture with 3 replications. Treatments included 4 irrigation levels (100%, 85%, 70%, and 55% of field capacity) and 2 types of water (normal water and magnetic water). The results showed that different levels of irrigation on all traits (except physical water productivity which was significant at a 5% level) were significant ($P < 0.01$). Effects of magnetic water on the dry weight of lateral branches and flowers, number of flowers and physical water productivity were significant (at $P < 0.01$); and on the dry weight of flowering stems and leaves, number of leaves and lateral branches were also significant (at $P < 0.05$). The interaction effect of the studied treatments was significant ($P < 0.01$) on the number of leaves; and on the dry weight of roots, flowers, and flowering stems ($P < 0.05$). The highest dry weights of leaves and flowering stems, number of flowers, number of leaves and lateral branches, height and physical water productivity were in irrigation with 100% field capacity and were, respectively, 1.77 and 0.37 g/plant, 7 and 6, 18.4 cm and 0.186 kg/m³. Also, reducing irrigation water by 15%, 30%, and 45% reduced the number of flowers by 25.7%, 32.8%, and 54.3%; and the physical water productivity by 18.8%, 21.5%, and 24.2%, respectively. The highest dry weight of flowers, roots, and lateral branches were observed in magnetic water + irrigation with 100% field capacity, as 0.29, 0.5, and 0.74 g/plant, respectively. The results showed that using a magnetic field increased flower yield and water productivity of Marigold plants under water stress. In this study, the best treatment was 0.6 teslas magnetized water+ 100%FC. However, to apply these stresses at the field level, more research is needed.

Keywords: Physical water productivity, Production function, Drought stress, Flower yield, Magnetic field.

¹ - Corresponding author: Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Mashhad, Iran.