مجله علوم و فنون باغبانی ایران جلد ۲۳ شماره ۴ صفحه های ۵۶۷ تا ۵۸۴ (۱۴۰۱)
مقاله پژوهشی

تأثیر میدان مغناطیسی بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی گل همیشه‌بهار در سطوح مختلف تنش خشکی[1]

Effect of Magnetic Field on the Morphophysiological Characteristics of Pot Marigold under Different Levels of Drought Stress

فاطمه صفری و محمدرضا صالحی سلمی*[2]

چکیده

هدف از پژوهش حاضر، کاهش اثرهای منفی تنش خشکی بر گل همیشه‌بهار به‌وسیله جریان میدان مغناطیسی به‌عنوان روشی سازگار با محیط‌زیست بود. این آزمایش به‌صورت فاکتوریل (۲ فاکتور) در قالب طرح به‌طور کامل تصادفی با ۱۱ تکرار در گلخانه انجام شد. فاکتورها شامل سطوح مختلف میدان مغناطیسی (صفر، ۱/۵ و ۳ تسلا) و سطوح مختلف تنش خشکی (۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای) بود که در طول دوره‌ی رشد تا گل‌دهی اعمال شد. نتایج نشان داد که با کاهش میزان آبیاری ویژگی‌های مورفولوژیکی مانند وزن تر برگ، وزن تر و طول ریشه، وزن تر، تعداد و قطر گل و همچنین ارتفاع بوته کاهش یافت. همچنین اثر جریان مغناطیسی بر ویژگی‌های بیان‌شده در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود؛ به‌گونه‌ای که تیمار میدان مغناطیسی توانست وزن تر برگ را در سطح آبیاری ۶۰ درصد ظرفیت مزرعه افزایش دهد و وزن تر گل را در تمام سطوح آبیاری افزایش داد. میدان مغناطیسی ۱/۵ تسلا در برهم‌کنش با سطوح آبیاری سبب افزایش معنی‌دار کلروفیل کل، کربوهیدرات، پرولین و فنول کل نسبت به شاهد شد، اما تیمار مغناطیسی ۳ تسلا اثر مثبتی بر ویژگی‌های گیاه نداشت. به‌طورکلی میدان مغناطیسی با ایجاد سازوکارهای تحمل در شرایط تنش خشکی می‌تواند جایگزین روش‌های شیمیایی با اثرهای نامطلوب بر محیط زیست شود.

واژه‌های کلیدی: اسمولیت، رنگدانه، غیرشیمیایی، فضای سبز، کم آبی.

مقدمه

آب، یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر رشد و نمو گیاهان است (۲۰). مصرف صحیح آب در بخش فضای سبز حائز اهمیت است و تخصیص آب به فضاهای سبز به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، که با مشکل کم‌آبی مواجه‌اند، در رقابت تنگاتنگی با سایر مصرف‌کنندگان آب مانند کشاورزی، صنعت و شرب قرار می‌گیرد. بنابراین آب تخصیص‌یافته به فضای سبز دارای ارزش زیادی بوده و باید به‌صورت بهینه به مصرف برسد (۲۳). در سال‌های اخیر پژوهش‌های زیادی در زمینه میزان تحمل گیاهان فضای سبز نسبت به تنش خشکی انجام شده است. در بررسی اثر تنش خشکی بر گل گازانیای مایه‌زنی‌شده با قارچ مایکوریزا آربسکولار و یا محلول‌پاشی با ورمی‌واش، گزارش شد که با شروع تنش خشکی اندازه و تعداد گل کاهش یافت. همچنین با افزایش تنش خشکی، کاهش شدیدی در سطح برگ و درنتیجه وزن شاخساره ایجاد شد. همچنین تلقیح با قارچ مایکوریزا آربسکولار، تا حدودی سبب کاهش اثرهای منفی تنش خشکی گردید (۳۱). نتایج پژوهش اثر تنش خشکی بر مریم‌گلی و گل ابری محلول‌پاشی شده با کلسیم نشان داد که تنش خشکی شدید محتوای نسبی آب در برگ‌های مریم‌گلی و گل ابری را به نصف کاهش داد. همچنین در هر دو گونه، پارامترهای رشدی مانند ارتفاع گیاه، طول گل‌آذین، تعداد برگ و سطح برگ با کمبود آب کاهش یافتند. با این وجود، کاربرد کلسیم اثرات منفی تنش را کاهش داد (۲۲). در آزمایشی، Su و همکاران (۴۳) به بررسی اثرات ماده

۱- تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۳/۱۹

۲- به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران.
* نویسنده مسئول، پست الکترونیک: (Salehi@asnrukh.ac.ir).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.4.2.6]

ضدتعرقی کائولین بر گل کاغذی زیر تنش خشکی پرداختند. نتایج نشان داد که مواد ضدتعرق هدایت روزنه‌ای و سرعت تعرق را کاهش داد. همچنین این مواد نرخ خالص فتوسنتزی و غلظت CO_2 بین یاخته‌ای را در شرایط تنش خشکی حفظ کرد. مشخص گردید مواد ضدتعرقی از دست دادن محتوای کلروفیل، محتوای نسبی آب، افزایش نشت الکترولیت و محتوای مالون آلدئید را کاهش داد. نتایج برهمکنش تنش خشکی و محلول‌پاشی پرولین بر گیاه همیشه‌بهار نشان داد که بیش‌ترین وزن تر و خشک ریشه و فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل در تیمار آبیاری ۷۵ ٪ ظرفیت زراعی همراه با محلول‌پاشی پرولین ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر بود. بیشترین ارتفاع بوته و تعداد گل در آبیاری معمولی همراه با محلول‌پاشی پرولین ۵۰ میلی‌گرم در لیتر بود (۴۲).

به‌طورکلی اعمال مدیریت صحیح و به‌کارگیری فنون پیشرفته حفظ ذخیره رطوبت، افزایش ظرفیت نگه‌داری آب خاک، کاشت گیاهان سازگار و مقاوم‌سازی گیاهان از جمله اقدام‌های مؤثر برای افزایش راندمان آبیاری از منابع محدود آب است (۲۳). قرن بیستم به‌عنوان قرن کاربرد وسیع از مواد شیمیایی مانند تنظیم‌کننده‌های رشدی و کودهای شیمیایی در کشاورزی بود، از سوی دیگر این روند سبب اثرات منفی بر محیط زیست شده است. بنابراین، امروزه کشاورزی به سمت عوامل دوستدار محیط زیست و تأثیرگذار بر رشد و نمو گیاهان مانند میدان‌های مغناطیسی پیش رفته است (۱۳). به‌نظر می‌رسد تیمارهای مغناطیسی به عنوان یک محرک نازیوا می‌تواند جایگزین روش‌های شیمیایی که اثرات نامطلوبی برای محیط زیست دارد، شود. انرژی این تیمار فیزیکی می‌تواند به گیاه منتقل شود و با ایجاد مکانیسم‌های مقاومت در شرایط تنش، شرایط بهتری را برای رشد گیاه فراهم کند. پژوهش‌های انجام‌شده بر اهمیت میدان مغناطیسی به‌عنوان یک انتخاب جایگزین مواد شیمایی، برای بهبود محصولات کشاورزی در مقابل تنش خشکی تأکید دارد (۱۰). در پژوهشی، Yang و همکاران (۴۹) تأثیر کاشت بذرهای تاج‌خروس تیمارشده با میدان مغناطیسی در شرایط تنش خشکی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که تیمار مغناطیسی ۱۰۰ میلی تسلا اثرات مضر ناشی از رژیم آبیاری ۱۰ روزه را با افزایش وزن خشک، محتوای کلروفیل و فعالیت‌های آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در برگ‌های گیاه کاهش دادند. همچنین آن‌ها بیان داشتند که استفاده از میدان مغناطیسی یک راهکار جدید، اقتصادی و عملی برای مقاوم‌سازی گل تاج‌خروس به شرایط تنش خشکی است. در پژوهش دیگری نشان داده شد که قرار گرفتن بذرهای گل پروانش در معرض میدان مغناطیسی سبب افزایش تندش در شرایط تنش شوری شد؛ به‌طوری‌که بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی با در معرض قرار گرفتن ۲۰ دقیقه با شدت ۱۰۰ میلی تسلا به دست آمد، که منجر به ۲۸ ٪ جوانه‌زنی بیشتر نسبت به شاهد شد (۵۱). در پژوهشی Mirshekari و همکاران (۲۸) تأثیر میدان مغناطیسی بر ویژگی‌های رشد گل همیشه‌بهار را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد تیمار میدان مغناطیسی بر افزایش سطح برگ و طول ساقه گل‌دهنده همیشه‌بهار تأثیر گذاشت.

گیاه همیشه‌بهار از تیره آفتابگردان، گیاهی علفی و یک‌ساله است. این گیاه به دلیل رنگ زیبا و بوی معطر خود، در صنعت گل‌کاری بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۱). این گیاه به‌عنوان یک گل بریدنی و بیشتر به‌عنوان گل حاشیه‌ای در فضای سبز کاشته می‌شود (۲۹). همیشه‌بهار از مناطق گرم تا خیلی سرد قابل کشت است و به همین دلیل یکی از گل‌های رایج در فضای سبز بیشتر شهرهای ایران است و از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بنابراین پژوهش در رابطه با این گل و به‌ویژه در زمینه مصرف آب امری ضروری است (۲۰). با وجود بررسی پاسخ‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان در تنش خشکی، بسیاری از گیاهان، از جمله گل همیشه‌بهار، نمی‌توانند از راه مکانیسم‌های داخلی با شرایط تنشی مقابله کنند. بنابراین، استفاده از راهکارهای دیگر روی گیاه جهت مقابله با این شرایط ضروری است. از سوی دیگر در پژوهش‌های انجام‌شده هیچ گونه گزارشی مبنی بر تهدید میدان مغناطیسی برای محیط‌زیست گزارش نشده است و همان‌طور که گزارش‌های علمی نشان می‌دهد، اثربخشی فرایندهای فیزیولوژیکی را افزایش می‌دهد. بنابراین هدف از این پژوهش کاهش اثرات منفی تنش خشکی بر گل همیشه‌بهار با استفاده از جریان میدان مغناطیسی به‌عنوان روشی سازگار با محیط‌زیست می‌باشد.

مواد و روش‌ها

زمان و مکان اجرای پژوهش

این پژوهش در سال ۹۹-۱۳۹۸ به‌صورت گلدانی در گلخانه پژوهشی گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان انجام شد. این دانشگاه در ۳۶ کیلومتری شمال شرقی اهواز و در حاشیه شرقی رودخانه کارون با عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۳۶ دقیقه و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۵۳ دقیقه و ارتفاع ۲۴ متر از سطح دریا قرار دارد.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.4.2.6]

تهیه بذر و بستر کشت

بذرهای گل همیشه‌بهار رقم 'Golden Yellow' هلندی با رنگ گل زرد، از فروشگاه محصولات کشاورزی در شهر اهواز خریداری شد. بستر کشت مورد نظر شامل خاک (جدول ۱)، کود حیوانی پوسیده و خاک‌برگ الک شده به نسبت ۱:۲:۳ بود. در هر گلدان پلاستیکی ۲۵۰ گرم سنگریزه ضدعفونی شده با وایتکس ۱۰٪، برای زهکش در کف گلدان ریخته شد. در پایان وزن هر گلدان با بستر کشت به ۱ کیلوگرم رسانده شد. برای اندازه‌گیری ظرفیت زراعی بستر کشت، بخشی از محیط کشت به آزمایشگاه گروه علوم خاک منتقل گردید و بر اساس آن مقدار آب لازم برای رسیدن به ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی دائم به ترتیب ۳۵/۶۱ و ۲۵/۷۲ درصد تعیین شد. اواخر آبان ماه در هر گلدان ۳ عدد بذر در عمق ۳-۲ سانتی‌متری بستر کشت شد. پس از سبز شدن، در مرحله ۲ تا ۳ برگی عمل تنک و نگهداری یک بوته در هر گلدان انجام گرفت.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک مورد استفاده.

Table 1. Physico-chemical properties of the used soil.

بافت خاک Soil Texture	شن Sand (%)	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	ماده آلی Organic mater (%)	شوری EC (dS m^{-1})	پی‌اچ خاک pH
لومی‌رسی Loam-Clay	39	31	30	0.035	5.12	7.8

تیمارها

پیش از اعمال تیمارها، گیاهانی با رشد یکنواخت و ارتفاع برابر انتخاب شدند. این آزمایش به‌صورت فاکتوریل (۲ فاکتور) در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۱۱ تکرار انجام شد. فاکتورها شامل سطوح مختلف میدان مغناطیسی (صفر، ۱/۵ و ۳ تسلا) و سطوح مختلف تنش خشکی (۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای) بود. تیمار تنش خشکی با استفاده از روش وزنی اعمال گردید. در ابتدا همه گلدان‌ها به یک‌میزان و در حد ۱۰۰٪ ظرفیت مزرعه‌ای آبیاری شدند (۲۶۷ میلی‌لیتر) و سپس تنش خشکی از آبیاری دوم اعمال گردید. پیش از انجام آبیاری، گلدان‌ها روی ترازوی دیجیتال (با دقت ۱ گرم) قرار گرفته و تا رسیدن به رطوبت مورد نظر به آن‌ها آب اضافه شد. میدان مغناطیسی با استفاده از دستگاه مولد میدان مغناطیسی (شامل ۲ عدد دستگاه ترانس) اعمال شد. به این صورت که دستگاه ترانس در یک نقطه ثابت قرار گرفته بود و با استفاده از تسلامتر فاصله مناسب برای شدت مغناطیس مورد نیاز (۱/۵ و ۳ تسلا) تعیین شد. سپس گلدان‌ها در فاصله تعیین‌شده و به‌صورت دایره‌وار در اطراف دستگاه ترانس قرار گرفتند، تا شدت مغناطیس لازم برای همه گلدان‌ها فراهم شود. اعمال میدان‌های مغناطیسی به‌صورت مداوم و تا پایان آزمایش ادامه داشت.

شرایط نگهداری گیاهان

گلدان‌ها درون گلخانه شیشه‌ای و در شرایط نور طبیعی (۶۲۴۰۰ تا ۷۴۵۰۰ لوکس) قرار داشتند. میانگین دمای روز و شب به ترتیب ۲۵ و ۱۸ درجه سلسیوس و میانگین بیشینه و کمینه رطوبت ۵۰ تا ۹۰ درصد بود. جهت جلوگیری از بیماری‌های قارچی در ۲ نوبت قارچ‌کش بنومیل و کود کامل (۲ در هزار) هر ۲ هفته یک‌بار برای جلوگیری از کمبودهای تغذیه‌ای و تأثیر منفی بر روند رشدی به گیاهان داده شد. آزمایش در حدود ۴ ماه به طول انجامید.

ویژگی‌های مورد بررسی

پس از نمو کامل گل، نمونه‌برداری شروع و ویژگی‌های زیر اندازه‌گیری شد.

ویژگی‌های مورفولوژیکی شامل: ارتفاع بوته (با استفاده از خط‌کش و بر حسب میلی‌متر از پاهنگ تا بالاترین نقطه گیاه)، تعداد گل در بوته (به روش مشاهده‌ای)، قطر گل (با استفاده از کولیس و برحسب میلی‌متر) وزن تر گل (با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم)، وزن تر ریشه، طول ریشه (با استفاده از خط‌کش و برحسب میلی‌متر از پاهنگ تا نوک ریشه)، وزن تر برگ بود.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.4.2.6]

جهت اندازه‌گیری ویژگی‌های ریشه، پس از خروج از خاک و شست‌وشو با آب، ریشه‌ها روی پارچه گذاشته شدند تا آب آن‌ها گرفته شود. سپس وزن و طول آن‌ها اندازه‌گیری شد.

ویژگی‌های فیزیولوژیکی شامل کلروفیل کل، کارتنوئیدها، پرولین، کربوهیدرات‌های محلول و فنول کل بود.

جهت اندازه‌گیری کلروفیل کل و کارتنوئیدها از روش Lichtenthaler (۲۶) استفاده شد. بدین ترتیب که ۰/۵ گرم از نمونه برگی با ازت مایع پودر و سپس با استون ۸۰٪ رنگدانه‌ها استخراج شد. نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در فریزر قرار گرفته و سپس با استفاده از روش اسپکتروفتومتر و در طول‌موج‌های ۶۴۵، ۶۶۳ و ۴۸۰ خوانش انجام گردید. میزان کلروفیل کل و کارتنوئید از معادلات Wellburn (۴۷) محاسبه گردید.

جهت اندازه‌گیری محتوای پرولین از روش اصلاحی Bates و همکاران (۷) استفاده شد. نیم گرم ماده خشک گیاهی با استفاده از ۱۰ میلی‌لیتر سولفوسالسیلیک اسید ۳ ٪ کاملاً خرد و سپس صاف شد. نمونه در دمای ۴ درجه سلسیوس با سرعت ۱۵۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. مقدار ۲ میلی‌لیتر از عصاره صاف‌شده را درون تیوب ریخته و ۲ میلی‌لیتر اسید نایِن هیدرین به آن افزوده شد. نمونه‌ها به مدت ۹۰ دقیقه در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس درون حمام آب گرم گذاشته، سپس درون یخ قرار داده شدند. مقدار ۴ میلی‌لیتر تولوئن به محلول‌ها اضافه و آن‌ها به مدت ۳۰ دقیقه درون دستگاه شیکر قرار گرفتند. با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (مدلUV-2100 ساخت کشور آمریکا) و در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر مقدار پرولین قرائت گردید.

اندازه‌گیری میزان کربوهیدرات محلول براساس روش Dubois و همکاران (۱۲) انجام شد. بدین منظور ۰/۱ گرم نمونه برگی با ۳ میلی‌لیتر الکل اتیلیک عصاره‌گیری شد. سپس ۵۰ میکرولیتر از نمونه همگن با ۰/۵ میلی‌لیتر فنول ۵٪ و ۲/۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۹۸ ٪ اضافه گردید. پس از افزودن اسید، مخلوط واکنش به مدت ۱۰ دقیقه خنک گردید. با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر و در طول‌موج ۴۹۰ نانومتر مقدار کربوهیدرات‌های محلول قرائت گردید.

جهت اندازه‌گیری میزان فنول کل از روش Marinova و همکاران (۲۷) با استفاده از روش رنگ سنجی فولین سیوکالتیو استفاده شد. یک گرم از نمونه پودر شده به‌وسیله ۱۰ میلی‌لیتر از حلال متانول سرد خالص عصاره‌گیری شد. میزان ۱۲۵ میکرولیتر از عصاره متانولی با ۳۷۵ میکرولیتر آب مقطر رقیق و سپس ۲/۵ میلی‌لیتر محلول معرف فولین سیوکالتیو ۱۰ ٪ به آن اضافه شد و برای ۶ دقیقه در تاریکی در دمای اتاق نگهداری گردید. سپس ۲ میلی‌لیتر محلول کربنات سدیم ۷/۵ ٪ به آن اضافه شد تا واکنش خنثی گردد. هر نمونه به مدت ۹۰ دقیقه در دمای اتاق در تاریکی قرار داده شد و پس از آن میزان جذب محلول آبی‌رنگ تولیدی در طول‌موج ۷۶۵ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد.

واکاوی داده‌ها

واکاوی داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS, 9.4 انجام شد و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد صورت گرفت. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel, 2017 استفاده شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

نتایج اثر سطوح خشکی بر ارتفاع بوته نشان داد که با کاهش میزان آبیاری ارتفاع کاسته شد. به‌گونه‌ای که بیش‌ترین ارتفاع بوته با میانگین ۱۸/۳۴ سانتی‌متر مربوط به ۱۰۰ ٪ ظرفیت مزرعه‌ای بود، که با تیمار ۸۰ ٪ ظرفیت مزرعه‌ای تفاوت معنی‌داری نشان نداد و کمترین ارتفاع بوته نیز با میانگین ۱۷/۴۲ سانتی‌متر در تیمار ۶۰ ٪ ظرفیت مزرعه‌ای مشاهده شد (شکل ۱). اثر جریان میدان مغناطیسی بر میزان ارتفاع بوته نشان داد، بیش‌ترین میزان ارتفاع بوته با میانگین ۱۹ سانتی‌متر مربوط به تیمار ۱/۵ تسلا و کمترین میزان این شاخص نیز با میانگین ۱۶/۶۴ سانتی‌متر در تیمار ۳ تسلا مشاهده شد (شکل ۱). افزایش میزان آب خاک و قابل‌دسترس شدن عناصر غذایی می‌تواند در بهبود رشد عمومی گیاه نقش بسزایی داشته باشد. همچنین محدودیت آبی موجب کاهش تقسیم و انبساط یاخته‌ها می‌شود و از این راه رشد اندام‌ها و ارتفاع بوته را کاهش می‌دهد (۱۵). در تأیید نتایج پژوهش حاضر، Jafarzadeh و همکاران (۲۰) نیز کاهش ارتفاع گیاه همیشه‌بهار را با افزایش شدت خشکی از پتانسیل رطوبت خاک ۰/۵- اتمسفر (شاهد بدون تنش)، به ۱۰- اتمسفر (تنش شدید) گزارش کردند. در پژوهش دیگری تنش خشکی سبب کاهش ارتفاع گازانیا شد (۳۱). در پژوهشی، Sadeghi و Rostami (۳۹) با بررسی تنش خشکی بر گیاه علف مار

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.4.2.6]

(*Capparis spinosa*) مشاهده کردند که با افزایش شدت تنش خشکی از ۱۰۰ ٪ ظرفیت زراعی به ۵۰ ٪ ظرفیت زراعی ارتفاع گیاه به میزان ۶۸/۹ ٪ کاهش یافت. نتایج این پژوهش نشان داد که میدان مغناطیسی با شدت ۱/۵ تسلا ارتفاع را افزایش و در شدت ۳ تسلا بر طول گیاه تأثیر منفی داشت. بیان شده است که میدان مغناطیسی می‌تواند بر عوامل مؤثر بر افزایش طول اندام هوایی از جمله وجود رادیکال‌های آزاد و میزان جیبرلیک اسید که به‌عنوان محرکی جهت بیان ژن‌های کد کننده آنزیم‌های تغییردهنده یاخته‌ای و دیگر پروتئین‌ها مانند زایلوگلوکان، اندوترانس گلیکوالز یا هیدروالز و اکسپنسین‌ها تأثیر گذارد (۴۴). در بسیاری از نتایج به‌دست‌آمده مشخص شده است که میزان رشد گیاهان در معرض میدان مغناطیسی بسته به‌شدت، زمان و فرکانس میدان مغناطیسی متغیر است. در پژوهش Jalilzadeh و همکاران (۲۱) بیان شد که طول اندام هوایی گل همیشه‌بهار در تیمار میدان مغناطیسی به مقدار ۱۷/۹ ٪ افزایش یافته است. میدان مغناطیسی در گل کوکب کوهی سبب افزایش طول گیاهچه شد (۱۵).

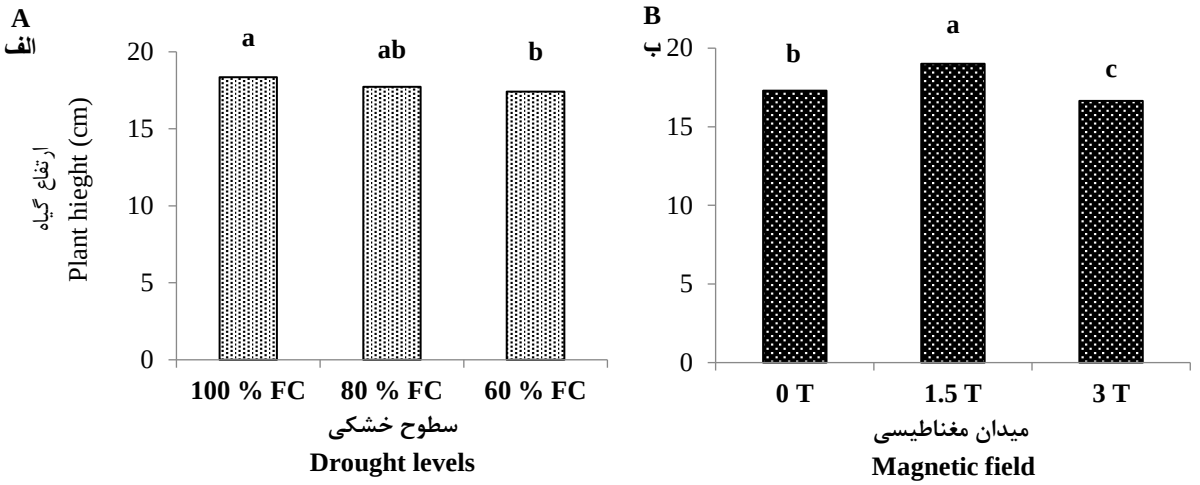

Fig. 1. Effect of drought stress levels (A) and magnetic fields (B) on the pot marigold (*Calendula officinalis* L.) height. In each graph, means with similar letters are not significantly different at 5% level of probability using Duncan test.

شکل ۱- تأثیر الف. سطوح مختلف خشکی و ب میدان‌های مغناطیسی بر ارتفاع گل همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.). در هر نمودار، میانگین‌های دارای حرف‌های مشترک، بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ ٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

وزن تر، تعداد و قطر گل

اثر برهمکنش کاربرد مقادیر مختلف سطوح آبیاری و جریان میدان مغناطیسی بر میزان وزن تر گل نشان داد، در هر سطح آبیاری، وزن تر گل در میدان مغناطیسی ۱/۵ تسلا بیش از شدت‌های دیگر بود. به‌طورکلی بیش‌ترین میزان این شاخص مربوط به تیمار ۸۰ ٪ ظرفیت مزرعه‌ای در میدان مغناطیسی ۱/۵ تسلا بود (۶/۱۶ گرم)، که با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری نشان داد. کمترین میزان وزن تر گل نیز با میانگین ۲/۵ گرم در تیمار ۶۰٪ ظرفیت مزرعه‌ای و ۳ تسلا مشاهده شد، که تفاوت معنی‌داری با تیمار ۶۰ ٪ ظرفیت مزرعه‌ای و بدون جریان مغناطیسی نداشت (شکل ۲). اثر سطوح تنش خشکی بر تعداد گل در بوته نشان داد که با افزایش تنش تا ۸۰ ٪ ظرفیت مزرعه‌ای تعداد گل افزایش یافت و با شدت گرفتن تنش تعداد گل کاهش یافت، به‌گونه‌ای که بیش‌ترین تعداد گل در بوته با میانگین ۷/۸۸ عدد مربوط به ۸۰٪ ظرفیت مزرعه‌ای بود که با تیمار ۱۰۰٪ ظرفیت مزرعه‌ای تفاوت معنی‌داری نشان نداد و کمترین تعداد گل در بوته نیز با میانگین ۶ عدد در تیمار ۶۰٪ ظرفیت مزرعه‌ای مشاهده شد (شکل ۳). همچنین، اثر جریان میدان مغناطیسی بر تعداد گل در بوته نشان داد، بیش‌ترین تعداد گل در بوته با میانگین ۸/۷۷ عدد مربوط به تیمار ۱/۵ تسلا و کمترین تعداد گل در بوته نیز با میانگین ۶/۱۱ عدد در تیمار ۳ تسلا مشاهده شد (شکل ۳). اثر کاربرد مقادیر مختلف سطوح آبیاری بر قطر گل نشان داد، بیش‌ترین قطر گل مربوط به ۸۰٪ ظرفیت مزرعه‌ای بود (۶/۱ سانتی‌متر) که با تیمار ۱۰۰٪ ظرفیت مزرعه‌ای تفاوت معنی‌داری نشان نداد. همچنین کمترین قطر گل در تیمار ۶۰٪ ظرفیت مزرعه‌ای مشاهده شد (۵/۲۴ سانتی‌متر)، ولی با تیمار ۱۰۰٪ ظرفیت مزرعه‌ای تفاوت معنی‌داری نشان نداد (شکل ۴). در رابطه با اثر

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.4.2.6]

جریان میدان مغناطیسی بر قطر گل مشخص شد که بیش‌ترین میزان قطر گل با میانگین ۶/۰۸ سانتی‌متر مربوط به تیمار ۱/۵ تسلا و کمترین قطر گل نیز با میانگین ۴/۲۲ سانتی‌متر در تیمار ۳ تسلا مشاهده شد (شکل ۴). در پژوهش حاضر مشخص شد که خشکی شدید توانست وزن تر گل را کاهش دهد. این نتایج با یافته‌های Jafarzadeh و همکاران (۲۰) روی گیاه همیشه‌بهار و نتایج Puneet و Mukherjee (۳۵) روی گل رعنا زیبا همسویی داشت. یکی از دلایل کاهش تعداد گل در شرایط تنش خشکی، تجزیه آهسته‌تر و در نتیجه کاهش یا عدم انتقال مواد غذایی از بافت‌های ذخیره‌ای به اندام زایشی بیان شده است (۶). Rydlova و Püschel (۳۸) بیان داشتند که تنش خشکی سبب کاهش گلدهی در گل‌های زینتی شمعدانی و گازانیا شد. همچنین Allen and Allen (۵) نیز گزارش کردند که تنش خشکی روی بگونیا منجر به کاهش تعداد گل شد. اعمال شدید و طولانی‌مدت تنش خشکی روی گیاه شیشه‌شور نشان داد که کمبود آبیاری بر گلدهی و رنگ برگ تأثیر داشت (۶). Moradi Dastjerdi و همکاران (۳۱) گزارش کردند که تنش خشکی رشد اندام‌های زایشی و تعداد گل را در گازانیا کاهش داد، که با نتایج این پژوهش همخوانی داشت. به‌طورکلی در گل‌های فصلی عنصر اساسی گل است. بنابراین، ضروری است که تعداد و اندازه گل افزایش یابد. هرچند با کاهش آب مصرفی و به دنبال آن بروز تنش خشکی از عملکرد گل در گیاه همیشه‌بهار کاسته می‌شود، اما با به کار بردن میدان مغناطیسی با شدت ملایم می‌توان تا حدی از بروز اثرات سوء تنش خشکی بر عملکرد تولیدی این گیاه بکاهد. در این پژوهش میدان مغناطیسی ۱/۵ تسلا توانست در همه سطوح آبیاری وزن تر گل را نسبت به شرایط بدون جریان مغناطیسی افزایش دهد. این نتایج با پژوهش Zaredost و همکاران (۵۱) روی پروانش همسویی داشت. پژوهش‌ها نشان داده است که هورمون‌های گیاهی به‌عنوان یکی از عوامل مؤثر بر گلدهی محسوب می‌شود، به‌طوری‌که طی آزمایش‌هایی که بر ارکیده انجام شده میدان مغناطیسی با افزایش اسید جیبرلیک سبب افزایش گل‌دهی شد (۹). از طرف دیگر میدان مغناطیسی بر افزایش جذب یون‌ها به‌ویژه یون کلسیم تأثیر می‌گذارد (۴۱) از آنجایی که یون کلسیم در تنظیم متابولیسم هورمون‌های گیاهی تأثیر دارد، می‌توان احتمال داد که میدان مغناطیسی به‌طور غیرمستقیم بر میزان نسبت هورمون جیبرلین تأثیر گذاشته و موجب افزایش در تولید اندام‌های زایشی گیاه همیشه‌بهار شده است. به نظر می‌رسد افزایش شدت میدان مغناطیسی سبب تغییرات هورمونی گردیده و سبب اثرات منفی بر گل‌دهی می‌گردد (۴۰).

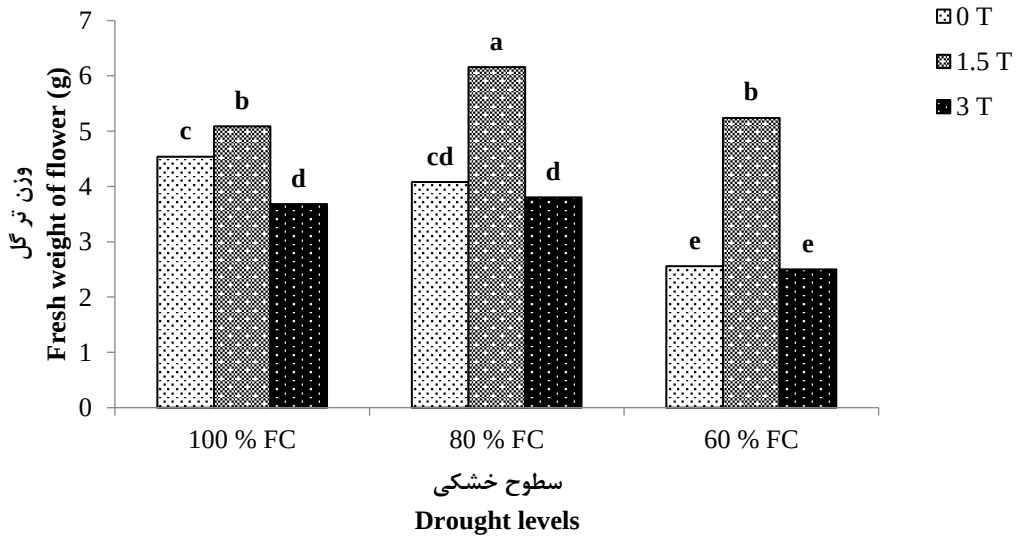

Fig. 2. Interaction of A. drought stress levels and B. magnetic fields on fresh weight of flower's marigold (*Calendula officinalis* L.). Means with similar letters are not significantly different at 5% level of probability using Duncan test.

شکل ۲- برهمکنش سطوح مختلف خشکی و میدان‌های مغناطیسی بر وزن تر گل‌های همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.). میانگین‌های دارای حرف‌های مشترک، بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ ٪ اختلاف معنی‌داری ندارد.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.4.2.6]

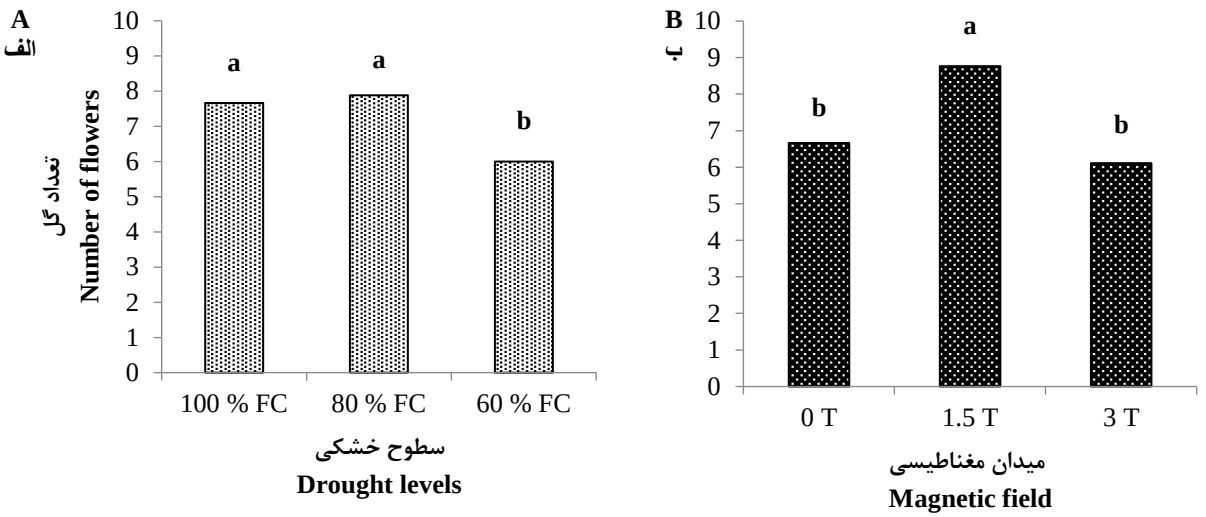

Fig. 3. Effect of A. drought stress levels and B. magnetic fields on flower number of marigold (*Calendula officinalis* L.). In each graph, means with similar letters are not significantly different at 5% level of probability using Duncan test.

شکل ۳- تأثیر الف. سطوح مختلف خشکی و ب. میدان‌های مغناطیسی بر تعداد گل همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.). در هر نمودار، میانگین‌های دارای حرف‌های مشترک، بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ ٪ اختلاف معنی‌داری ندارد.

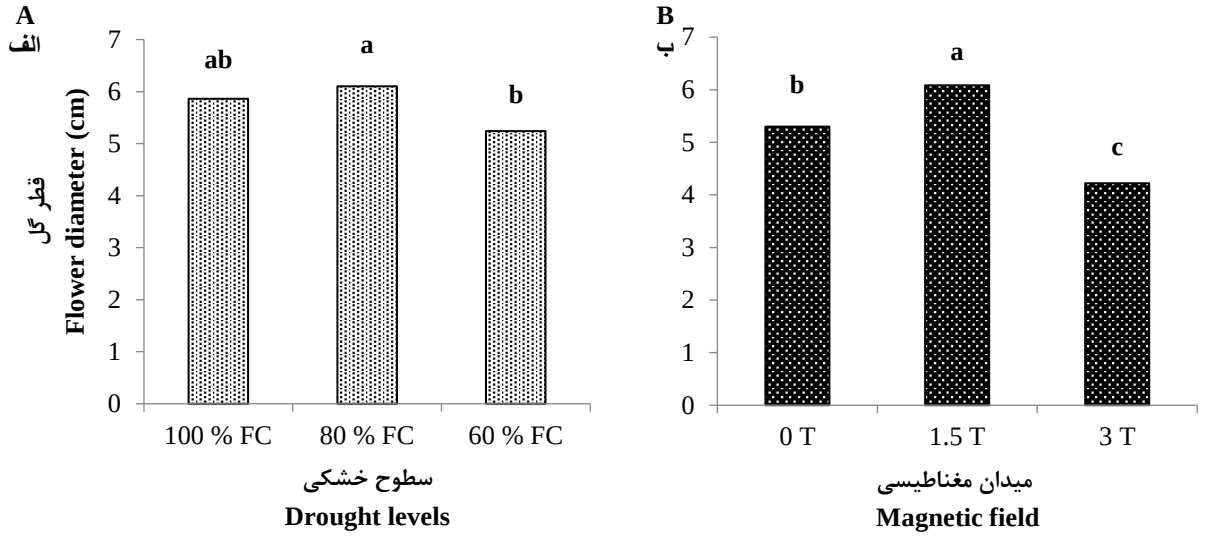

Fig. 4. Effect of A. drought stress levels and B. magnetic fields on flower diameter of marigold (*Calendula officinalis* L.). In each graph, means with similar letters are not significantly different at 5% level of probability using Duncan test.

شکل ۴- تأثیر الف. سطوح مختلف خشکی و ب. میدان‌های مغناطیسی بر قطر گل همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.). در هر نمودار، میانگین‌های دارای حرف‌های مشترک، بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ ٪ اختلاف معنی‌داری ندارد.

وزن تر برگ

اثر برهمکنش مقادیر مختلف سطوح آبیاری و جریان میدان مغناطیسی بر میزان وزن تر برگ نشان داد، بیش‌ترین میزان وزن تر برگ مربوط به ۱۰۰ ٪ ظرفیت مزرعه‌ای و بدون اعمال میدان مغناطیسی بود (۶/۷۲ گرم)، که با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری نشان داد. کمترین میزان وزن تر برگ نیز با میانگین ۲/۵۸ گرم در تیمار ۶۰ ٪ ظرفیت مزرعه‌ای و جریان مغناطیسی ۳ تسلا مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با سایر میانگین‌ها، به‌جز ۶۰ ٪ ظرفیت مزرعه‌ای و جریان مغناطیسی ۱/۵ تسلا، نشان داد (شکل ۵). اولین نشانه‌های کمبود آب، کاهش فشار تورژسانس است که منجر به کاهش رشد و نمو یاخته‌ها به‌ویژه در برگ

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.4.2.6]

می‌شود. به همین دلیل اولین تأثیر قابل‌مشاهده کم‌آبی بر گیاهان را می‌توان از روی کوچک شدن اندازه برگ‌ها تشخیص داد. گیاه در هنگام تنش، سطح برگ خود را کاهش داده و سبب کاهش وزن خشک برگ در واحد سطح می‌شود. این رفتار سبب کاهش تولید مواد فتوسنتزی می‌شود و در نهایت شاخساره کاسته می‌شود (۲). خشکی همچنین باعث تولید گونه‌های فعال اکسیژن می‌شود. این رادیکال‌ها در پایان سبب آسیب به غشای یاخته‌ای، اسیدهای نوکلئیک و پروتئین‌ها شده و به عدم تعادل متابولیکی منجر خواهند شد. توقف در رشد طولی یاخته و در نهایت کاهش طول گیاه، کاهش ماده‌سازی و کاهش سطح برگ تولیدشده نتیجه آسیب‌های حاصل از تولید گونه‌های فعال اکسیژن خواهد بود (۲۵). Goldani و Kamali (۱۶) با بررسی تنش خشکی روی گیاه تاج‌خروس مشاهده کردند افزایش شدت تنش خشکی باعث کاهش وزن تر برگ شد. همچنین در آزمایشی اثر سطوح مختلف آبیاری روی گیاه آهار نشان داد که رشد آهار به‌طور قابل‌توجهی تحت تأثیر تیمارهای تنش خشکی قرار گرفت. تنش خشکی شدید وزن تر برگ را کاهش داد (۴۵). نتایج تحقیقات اثرات تنش خشکی در مریم‌گلی آتشین و گل ابری نشان داد که در طول دوره رشد گونه، وزن تر و خشک برگ و سطح برگ با کمبود آب کاهش یافتند (۲۲). این نتایج با نتایج پژوهش حاضر همسویی دارد. پیرامون تأثیر میدان‌های مغناطیسی بر گیاهان اطلاعات متناقضی در دست است. مطالعات محققان نشان داده است که گیاهان نسبت به میدان مغناطیسی حساسیت بالایی دارند و این‌گونه میدان‌ها در رشد و نمو گیاهان اهمیت دارند. در پژوهش حاضر اثر میدان مغناطیسی بر وزن تر برگ نسبت به شاهد کمتر بود و تنها شدت میدان مغناطیسی ۱/۵ تسلا در سطح آبیاری ۶۰ ٪ وزن تر برگ را نسبت به شاهد (بدون جریان مغناطیسی) افزایش داد. Yang و همکاران (۴۹) تأثیر کاشت بذور تیمار شده گیاه تاج‌خروس با میدان مغناطیسی در شرایط تنش خشکی موردبررسی قرار دادند. مشخص شد همه تیمارهای مغناطیسی، به‌جز آن‌هایی که در ۳۰ میلی‌تسلا بودند، اثرات مضر ناشی از رژیم آبیاری ۱۰ روزه را با افزایش وزن در برگ‌های گیاه کاهش دادند. Agustrina و همکاران (۴) گزارش کردند که القای میدان مغناطیسی ۰/۲ میلی‌تسلا به مدت ۱۵ دقیقه به‌طور قابل‌توجهی سطح برگ و وزن خشک گیاه را ۲۸ روز پس از کاشت افزایش داد. نتایج تحقیقات Zaredost و همکاران (۵۱) اثر شدت و مدت‌زمان میدان مغناطیسی روی جوانه‌زنی بذر پروانش در شرایط شوری نشان داد که بیش‌ترین وزن خشک ریشه‌چه و وزن خشک ساقه‌چه در تیمار ۱۰ دقیقه قرار گرفتن در معرض میدان مغناطیسی ۱۰۰ میلی تسلا مشاهده شد.

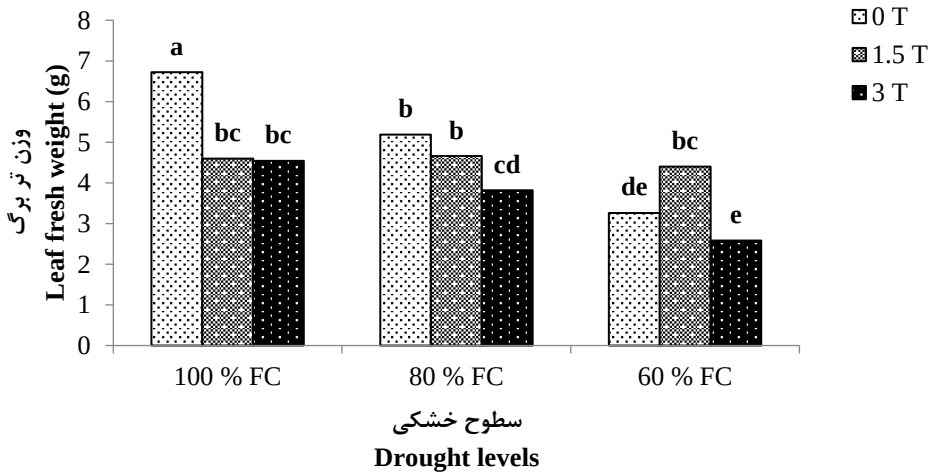

Fig. 5. Interaction of drought stress and magnetic fields on leaf fresh weight of marigold (*Calendula officinalis* L.). Means with similar letters are not significantly different at 5% level of probability using Duncan test.

شکل ۵- اثر برهمکنش سطوح مختلف خشکی و میدان‌های مغناطیسی بر وزن تر برگ‌های همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.). میانگین‌های دارای حرف‌های مشترک، بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ ٪ اختلاف معنی‌داری ندارد.

وزن تر و طول ریشه

اثر برهمکنش سطوح آبیاری و جریان میدان مغناطیسی بر وزن تر ریشه نشان داد، بیش‌ترین وزن تر ریشه با میانگین ۷/۱۲ گرم مربوط به تیمار ۸۰ ٪ ظرفیت مزرعه‌ای و بدون میدان مغناطیسی بود که با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری نشان داد. کمترین

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.4.2.6]

میزان وزن تر ریشه در تیمار ۶۰ ٪ ظرفیت مزرعه‌ای و ۳ تسلا مشاهده شد (۲/۴۴ گرم)، که تفاوت معنی‌داری با سایر میانگین‌های به‌دست‌آمده، به‌جز تیمار ۶۰ ٪ ظرفیت مزرعه‌ای و ۱/۵ تسلا، نشان داد (شکل ۶). همچنین اثر سطوح مختلف خشکی بر طول ریشه نشان داد، بیش‌ترین طول با میانگین ۲۲/۰۱ سانتی‌متر مربوط به ۱۰۰ ٪ ظرفیت مزرعه‌ای و کمترین میزان نیز با میانگین ۲۰/۵۷ سانتی‌متر در تیمار ۶۰ ٪ ظرفیت مزرعه‌ای مشاهده شد (شکل ۷). نتایج اثر جریان میدان مغناطیسی بر طول ریشه نشان داد، بیش‌ترین میزان طول ریشه مربوط به تیمار ۱/۵ تسلا (۲۲/۴۸ سانتی‌متر) و کمترین طول ریشه در تیمار ۳ تسلا مشاهده شد (۲۰/۶۶ سانتی‌متر) که تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد نشان نداد (شکل ۷). در گیاهان گلدانی زیر تیمار تنش خشکی مشخص شده است که با توجه به محدودیت رشد ریشه، با افزایش تنش خشکی رشد ریشه کاهش می‌یابد. جذب آب کمتر نیز کاهش تورژسانس یاخته‌ها را به دنبال داشته و با توجه به اینکه یکی از فاکتورهای تقسیم یاخته‌ای، آماس یاخته‌ای است، در نتیجه با کاهش آب قابل‌دسترس و کاهش تورژسانس، در نهایت رشد ریشه کاهش می‌یابد (۴۸). همچنین با توجه به اینکه گل همیشه‌بهار در شرایط آبیاری زیاد رشد خوبی ندارد (۱۱)، به نظر می‌رسد آبیاری در حد ظرفیت زراعی سبب کاهش رشد ریشه گردیده است. بنابراین به نظر می‌رسد تیمار ۸۰ ٪ ظرفیت مزرعه‌ای، میزان آبیاری مطلوبی برای رشد ریشه می‌باشد. نتایج پژوهش‌های Aalipour و همکاران (۱) در بررسی واکنش گیاه سرو نقره‌ای تحت تنش خشکی نشان داد که تنش آبی شدید تأثیر منفی بر رشد ریشه، پارامترهای مورفولوژیکی، محتوای آب نسبی داشت. در آزمایشی طول ساقه و طول ریشه گل لاله‌عباسی رشد یافته در گلدان با افزایش تنش خشکی کاهش یافت (۳۲). گزارش‌های متفاوتی در ارتباط با تأثیر میدان مغناطیسی بر رشد ریشه وجود دارد. در گیاهان در حال جوانه‌زنی مشخص شده است که میدان مغناطیسی سبب تولید رادیکال‌های آزاد در بذر در حال جوانه‌زنی می‌شود و تولید این مواد در حین جوانه‌زنی با سست شدن آندوسپرم و طویل شدن دیواره یاخته‌ای در ارتباط است. رادیکال‌های هیدروکسیل با تخریب پلی ساکاریدهای دیواره یاخته‌ای می‌توانند سبب طویل شدگی یاخته‌ها شوند. بنابراین، میدان مغناطیسی با مکانیسم بیان‌شده سبب طویل شدن ریشه‌چه گیاهان تحت شرایط تنش می‌شود و امکان دست‌یابی به منابع بهتر آب را فراهم می‌کند (۴۴). در پژوهشی، Ozel و همکاران (۳۴) اثرات میدان مغناطیسی بر جوانه‌زنی دانه‌های راش شرقی و رشد دانهال مورد بررسی قرار دادند و مشخص شد که طول ریشه دانهال‌ها در نتیجه جوانه‌زنی بذرهای در معرض میدان مغناطیسی ۵ برابر بیشتر از دانهال‌ها در گروه شاهد بود.همچنین، Van و همکاران (۴۶) اثرات میدان مغناطیسی دائمی بر رشد ریشه ریزنمونه‌های ساقه گل اسپاتی‌فیلوم و ارکیده در شرایط درون شیشه‌ای موردبررسی قرار دادند و گزارش دادند که با افزایش شدت میدان مغناطیسی، به‌طور منفی وزن تر ریشه کاهش یافت.

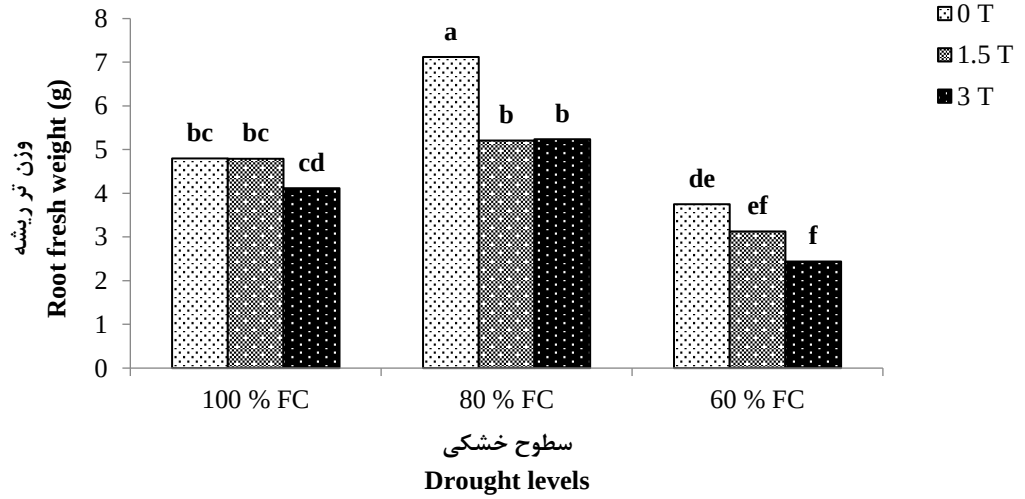

Fig. 6. Interaction of drought stress and magnetic fields on root fresh weight of marigold (*Calendula officinalis* L.). Means with similar letters are not significantly different at 5% level of probability using Duncan test.

شکل ۶- برهمکنش سطوح مختلف خشکی و میدان‌های مغناطیسی بر وزن تر ریشه همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.). میانگین‌های دارای حرف‌های مشترک، بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ ٪ اختلاف معنی‌داری ندارد.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.4.2.6]

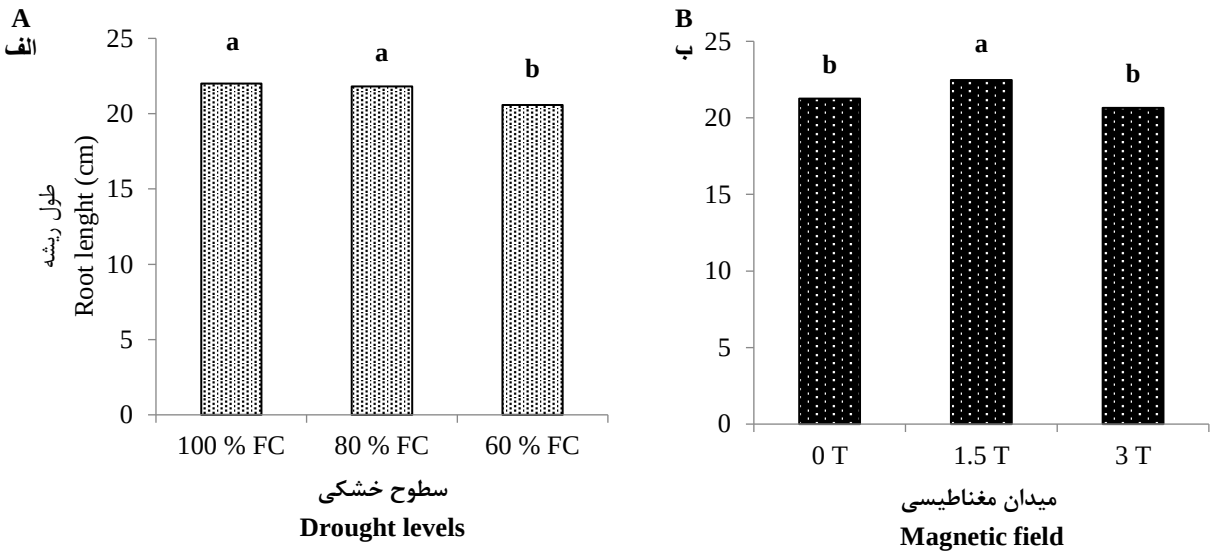

Fig. 7. Effect of A. drought stress levels and B. magnetic fields on root length of marigold (*Calendula officinalis* L.). In each graph, means with similar letters are not significantly different at 5% level of probability using Duncan test.

شکل ۷- تأثیر الف. سطوح مختلف خشکی و ب. میدان‌های مغناطیسی بر طول ریشه همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.). در هر نمودار، میانگین‌های دارای حرف‌های مشترک، بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ ٪ اختلاف معنی‌داری ندارد.

کلروفیل کل و کارتنوئیدها

اثر برهمکنش سطوح کم آبیاری و میدان مغناطیسی بر میزان کلروفیل کل نشان داد، بیش‌ترین میزان کلروفیل کل با میانگین ۳/۳۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر مربوط به تیمار ۱۰۰ ٪ ظرفیت مزرعه‌ای و جریان مغناطیسی ۱/۵ تسلا بود، که با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری نشان داد. همچنین کمترین میزان کلروفیل کل با میانگین ۱/۰۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر در تیمار ۶۰ ٪ ظرفیت مزرعه‌ای و جریان مغناطیسی ۳ تسلا مشاهده شد (شکل ۸). نتایج اثر برهمکنش سطوح مختلف آبیاری و جریان مغناطیسی بر میزان کارتنوئیدها نشان داد، بیش‌ترین میزان کارتنوئیدها با میانگین ۶/۸۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر مربوط به ۸۰ ٪ ظرفیت مزرعه‌ای و جریان مغناطیسی ۱/۵ تسلا بود، با این وجود تفاوت معنی‌داری با تیمار ۱۰۰ ٪ ظرفیت مزرعه‌ای و جریان مغناطیسی ۱/۵ تسلا نداشت (۶/۵۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر). کمترین میزان کارتنوئیدها با میانگین ۱/۹۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر در تیمار ۶۰ ٪ ظرفیت مزرعه‌ای و جریان مغناطیسی ۳ تسلا مشاهده شد که با تیمارهای ۶۰ ٪ ظرفیت مزرعه‌ای و جریان مغناطیسی ۱/۵ تسلا و تیمار ۶۰ ٪ ظرفیت مزرعه‌ای و بدون جریان مغناطیسی، اختلاف معنی‌دار نداشت (شکل ۹). کاهش محتوای کلروفیل و کارتنوئیدها در گیاهان تحت تنش خشکی در آزمایش‌های مختلفی گزارش شده است. کاهش این شاخص در گیاهان تحت تنش خشکی مربوط به فتواکسیداسیون کلروفیل توسط گونه‌های فعال اکسیژن و افزایش فعالیت آنزیم‌های کلروفیلاز، انتقال مجدد نیتروژن از برگ‌ها و همچنین در اثر تغییر فعالیت آنزیم‌های دخیل در متابولیسم نیتروژن می‌باشد (۳۳). کاهش میزان کلروفیل گونه‌های حساس به تنش می‌تواند درنتیجه تخریب ساختار ظریف کلروپلاست، تغییر نسبت چربی به پروتئین رنگیزه‌ها و یا افزایش فعالیت کلروفیلاز باشد. هر چه شدت تنش خشکی افزایش پیدا کند، محتوای رنگدانه‌ها کاهش بیشتری پیدا می‌کند. کاهش مقدار کلروفیل a و b به‌عنوان مکانیسم حفاظت نوری به‌کار گرفته می‌شود، تا با کاهش جذب نور، از زنجیره‌ی فتوسنتزی گیاه حفاظت نمایند. بهبود ساخت رنگدانه‌ها، هنگام تنش خشکی، بیشتر با تولید گونه‌های فعال اکسیژن در غشا تیلاکوئیدی صورت می‌گیرد (۲۴). بیان شده است که اعمال طولانی‌مدت تنش خشکی روی گیاه شیشه‌شور موجب کاهش کلروفیل و افزایش کارتنوئید شد (۶). در آزمایش که Su و همکاران (۴۳) نشان دادند که تنش خشکی محتوای کلروفیل را کاهش داد. بررسی نتایج حاصل از پژوهش حاضر نشان داد که تیمار میدان مغناطیسی محتوای کلروفیل کل و کارتنوئیدها را افزایش داد. بعضی از یاخته‌های گیاهی و رنگدانه‌های کلروپلاستی خواص پارامغناطیسی دارند. خواص مغناطیسی مولکول‌ها

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.4.2.6]

توانایی آن‌ها را در جذب و سپس تغییر شکل میدان مغناطیسی به دیگر انواع انرژی بالا می‌برد و باعث انتقال این انرژی به ساختارهای دیگر در یاخته‌های گیاهی و درنتیجه فعال شدن آن‌ها می‌شود. میدان مغناطیسی توانایی تغییر خواص آب را دارد و این آب مغناطیسی شده می‌تواند باعث افزایش محتوای کلروفیلی شود (۲۱). اثرات تحریکی تیمارهای مغناطیسی بر رنگیزه‌های فتوسنتزی ممکن است ناشی از افزایش محتوی یون‌ها نیز باشد. به‌عنوان‌مثال یون منیزیم که برای سنتز کلروفیل موردنیاز است و یون پتاسیم که منجر به افزایش احتمالی کارایی فتوسنتز به‌وسیله افزایش تعداد کلروپلاست‌های هر یاخته می‌گردد. همچنین افزایش در غلظت رنگیزه‌های کلروفیل ناشی از تیمارهای مغناطیسی ممکن است مربوط به افزایش در محتوی جیبرلین گیاهان باشد که منجر به تحریک تولید کلروفیل می‌شود (۱۴). نتایج این پژوهش با یافته‌های آزمایش Yang و همکاران (۴۹) همسوی بود. ایشان بیان کردند که تیمارهای میدان مغناطیسی محتوای کلروفیل گل تاج‌خروس را افزایش دادند. در آزمایش Agustrina و همکاران (۴) گزارش کردند که القا میدان مغناطیسی ۲ تسلا به‌طور قابل‌توجهی سطح برگ، محتوای کلروفیلی کل و کارتنوئیدهای فلفل را ۲۸ روز پس از کاشت افزایش داد. در پژوهشی، Van و همکاران (۴۶) اثرات میدان‌های مغناطیسی دائمی بر رشد درون شیشه‌ای شاخساره‌های گل اسپاتی‌فیلوم و ارکیده قایقی را موردبررسی قرار دادند و گزارش نمودند که میدان‌های مغناطیسی محتوای کلروفیل را افزایش دادند.

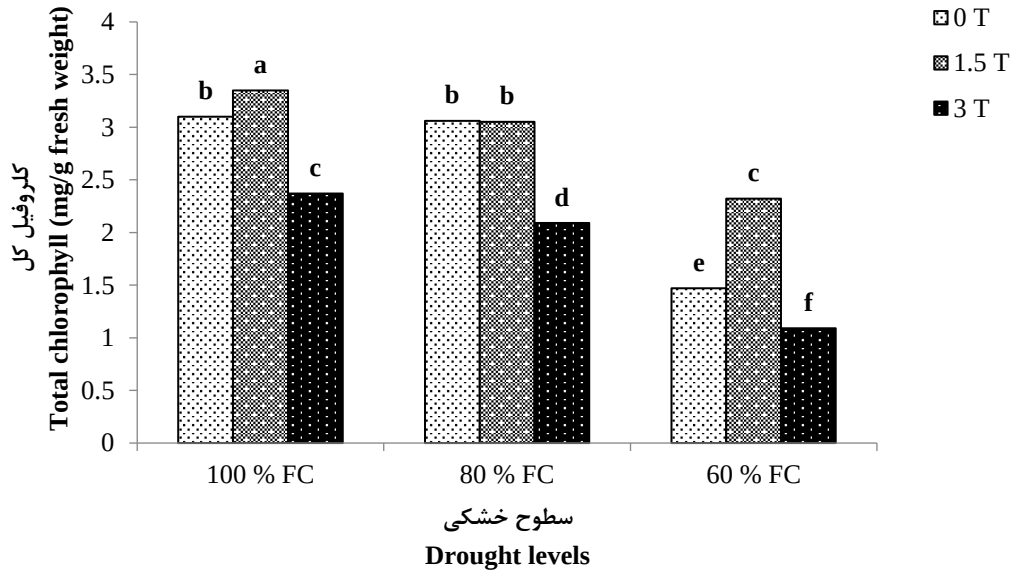

Fig. 8. Interaction of drought stress levels and magnetic fields on total chlorophyll of marigold (*Calendula officinalis* L.). Means with similar letters are not significantly different at 5% level of probability using Duncan test.

شکل ۸- برهمکنش سطوح مختلف خشکی و میدان‌های مغناطیسی بر میزان کلروفیل کل همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.). میانگین‌های دارای حرف‌های مشترک، بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ ٪ اختلاف معنی‌داری ندارد.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.4.2.6]

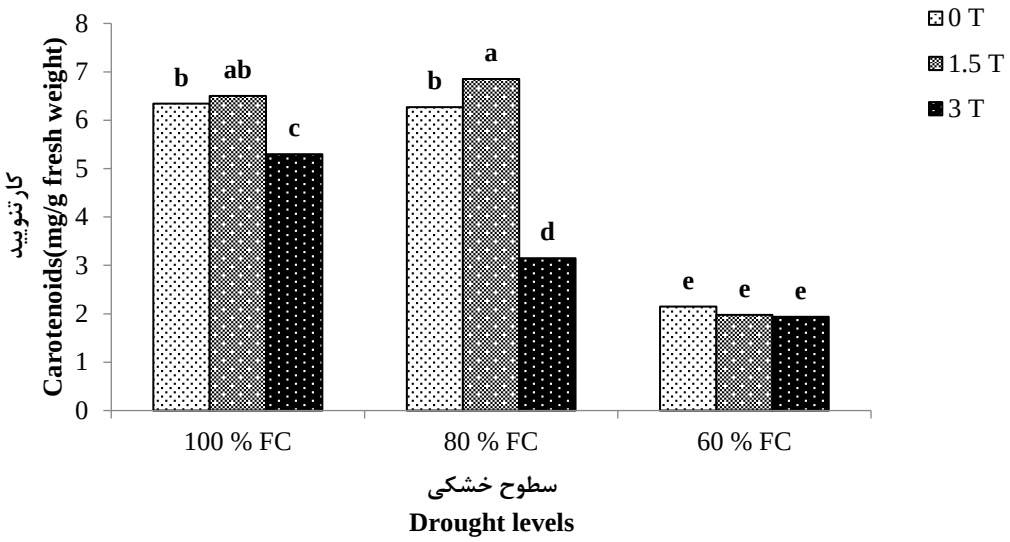

Fig. 9. Interaction of drought stress levels and magnetic fields on carotenoids of marigold (*Calendula officinalis* L.). Means with similar letters are not significantly different at 5% level of probability using Duncan test.

شکل ۹- برهمکنش سطوح مختلف خشکی و میدان‌های مغناطیسی بر میزان کارتنوئید همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.). میانگین‌های دارای حرف‌های مشترک، بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ ٪ اختلاف معنی‌داری ندارد.

کربوهیدرات‌های محلول

نتایج برهمکنش سطوح آبیاری و جریان میدان مغناطیسی بر میزان کربوهیدرات نشان داد، بیش‌ترین میزان کربوهیدرات با میانگین ۱۴۰۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر مربوط به تیمار ۶۰ ٪ ظرفیت مزرعه‌ای و جریان مغناطیسی ۱/۵ تسلا بود، که با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری نشان داد. همچنین کمترین میزان کربوهیدرات نیز با میانگین ۱۳۸/۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر در تیمار ۱۰۰ ٪ ظرفیت مزرعه‌ای و بدون جریان مغناطیسی مشاهده شد که با سایر میانگین‌های به‌دست‌آمده، به‌جز تیمار ۱۰۰ ٪ ظرفیت مزرعه‌ای و جریان مغناطیسی ۳ تسلا، تفاوت معنی‌داری نشان داد (شکل ۱۰). تنظیم اسمزی به‌عنوان یکی از سازوکارهای گیاه در برابر تنش خشکی در نظر گرفته شده است، که از راه انباشت مواد محلول می‌تواند منجر به حفظ تورژسانس یاخته‌ها و فرآیندهای وابسته به آن در پتانسیل‌های پایین آب شود. کربوهیدرات‌ها به‌عنوان تنظیم‌کننده‌های اسمزی نقش اصلی در متابولیسم گیاه دارند. اثر تنش خشکی روی کربوهیدرات‌ها به گونه و بافت گیاهی بستگی دارد (۴۵). در پژوهش حاضر با افزایش شدت تنش خشکی، مقدار کربوهیدرات‌ها نیز افزایش قابل‌توجهی را نشان داد. Hozayn (۱۸)، علت این افزایش را در شرایط تنش خشکی افزایش تجزیه کربوهیدرات‌های نامحلول و درنتیجه بالا رفتن سطح قندهای محلول، سنتز مواد اسمزی از مسیرهای غیرفتوسنتزی، توقف رشد، کاهش سرعت انتقال مواد و افزایش میزان سنتز سوکروز به دلیل فعال‌سازی آنزیم گلوکز فسفات سنتاز گزارش داد. در شرایط تنش افزایش کربوهیدرات‌های محلول در آب باعث حفظ تورژسانس یاخته‌های برگ، حفاظت غشای یاخته‌ای و بازداری از تخریب پروتئین‌ها می‌شود، همچنین از راه تأمین انرژی مورد نیاز گیاه از مرگ آن جلوگیری می‌کند. Oraee و همکاران (۳۳) گزارش دادند که با افزایش تنش خشکی بر گل بنفشه، کربوهیدرات افزایش یافت. افزایش میزان کربوهیدرات در تنش ملایم خشکی، بر گل آلوئه‌ورا نیز گزارش شده است (۱۷)، که با نتایج پژوهش کنونی همسویی داشت. یکی از دلایل افزایش کربوهیدرات‌های محلول تحت تأثیر میدان مغناطیسی می‌تواند به دلیل کاهش احتمالی ساخت لیگنین در دیواره باشد. ممکن است میدان مغناطیسی از یک مسیر مشترک بر میزان لیگنین و کربوهیدرات‌های محلول تأثیر گذاشته باشد. سنتز لیگنین با استفاده از پیش‌سازهای فتوسنتزی صورت می‌گیرد. گیاه با افزایش قندهای محلول در شرایط تنش، افزون بر حفظ پتانسیل اسمزی، می‌تواند ذخیره کربوهیدراتی خود را برای متابولیسم پایه یاخته‌ای در حد مطلوب نگه دارد (۲۱). نتایج پژوهش‌های Jalilzadeh و همکاران (۲۱) در بررسی اثرات متقابل میدان مغناطیسی و نانو ذرات نقره بر برخی شاخص‌های بیوشیمیایی همیشه‌بهار نشان داد در گیاهان تحت تیمار با میدان مغناطیسی، میزان کربوهیدرات محلول افزایش یافت که با نتایج پژوهش

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.4.2.6]

کنونی همخوانی دارد. بر اساس نتایج Abdollahi و همکاران (۳) میزان قند محلول در بادام تحت تیمار میدان مغناطیسی افزایش یافت.

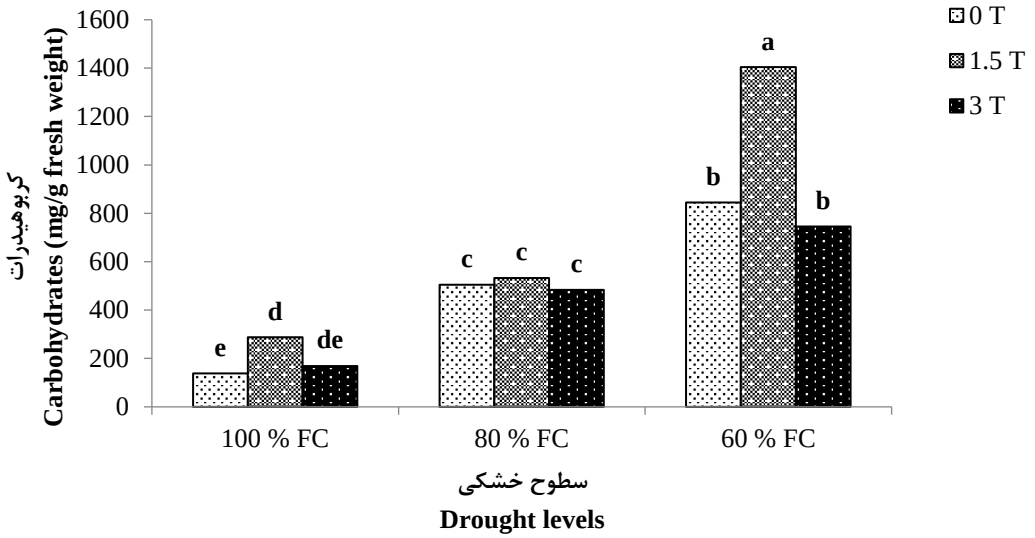

Fig. 10. Interaction of drought stress levels and magnetic fields on carbohydrates of marigold (*Calendula officinalis* L.). Means with similar letters are not significantly different at 5% level of probability using Duncan test.

شکل ۱۰- برهمکنش سطوح مختلف خشکی و میدان‌های مغناطیسی بر میزان کربوهیدرات‌های همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.). میانگین‌های دارای حرف‌های مشترک، بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ ٪ اختلاف معنی‌داری ندارد.

میزان پرولین

اثر برهمکنش سطوح مختلف آبیاری و میدان مغناطیسی بر میزان پرولین برگ نشان داد، بیش‌ترین میزان پرولین مربوط به تیمار ۶۰ ٪ ظرفیت مزرعه‌ای و میدان مغناطیسی ۱/۵ تسلا بود (۷۰/۴۳ میکرومول بر گرم وزن تر). همچنین کمترین میزان پرولین نیز با میانگین ۵/۶۲ میکرومول بر گرم وزن تر در تیمار ۱۰۰ ٪ ظرفیت مزرعه‌ای و میدان مغناطیسی ۳ تسلا مشاهده شد که با تیمار ۱۰۰ ٪ ظرفیت مزرعه‌ای و بدون جریان مغناطیسی اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۱۱). زمانی‌که گیاه در معرض تنش قرار می‌گیرد، تجزیه‌ی پروتئین‌ها و در نتیجه افزایش آمینواسیدها و آمیدها تسریع می‌شوند. یکی از این آمینواسیدها، پرولین است. پرولین به‌عنوان یک ماده محلول سبب تنظیم فشار اسمزی، کاهش هدر رفت آب از یاخته، حفظ آماس یاخته‌ای، کاهش تأثیر کندکنندگی یون‌ها روی فعالیت آنزیم‌ها، جلوگیری از تجزیه پروتئین‌های مختلف، افزایش پایداری برخی آنزیم‌های سیتوپلاسمی و میتوکندریایی، پایداری شکل پروتئین‌ها و در نتیجه حفاظت سامانه‌های غشایی می‌شود (۳۰، ۳۷). نقش حفاظتی پرولین به‌غیراز تنظیم اسمزی مربوط به توانایی این ماده در حفظ پایداری غشاهای یاخته‌ای و پروتئین‌ها، مهار کردن گونه‌های فعال اکسیژن و بافر کردن پتانسیل احیایی یاخته، تحت شرایط تنش خشکی است. تجمع پرولین رابطه مثبت و مستقیم با افزایش مقاومت به خشکی در گیاهان دارد. گزارش‌ها نشان داده است که در تنش خشکی، غلظت پرولین ممکن است بین ۳ تا ۳۰۰ برابر افزایش یابد (۲۴). گزارش شده است که تنش خشکی شدید میزان پرولین را تا ۷ برابر در گیاه آهار افزایش داد (۴۵). در بررسی اثرات تنش خشکی بر تحمل گل بنفشه در شرایط کنترل‌شده، Oraee و همکاران (۳۳) گزارش دادند که تنش خشکی برخی عوامل مانند پرولین را افزایش داد. بررسی نتایج این پژوهش نشان داد که میدان مغناطیسی محتوای پرولین را در گیاه همیشه‌بهار تحت تنش خشکی افزایش داد. میدان مغناطیسی باعث رهاسازی رادیکال‌های آزاد می‌شود، که این رادیکال‌ها موجب آسیب ماکروملکول‌های یاخته‌ای و درنتیجه اختلال در فعالیت آن‌ها می‌گردد (۱۸). گیاهان برای سازگاری با انواع مختلف تنش‌های محیطی، محلول‌های یاخته‌ای را درون خود انباشته می‌کنند. این املاح یاخته‌ای مشتقات آمینواسیدی چهارگانه از قبیل پرولین، گلایسین بتائین، آلانین بتائین و پرولین بتائین می‌باشند. دراین‌بین، پرولین اغلب به‌عنوان یک شاخص بیوشیمیایی

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.4.2.6]

در شرایط تنش مورد مطالعه قرار می‌گیرد، و از طریق جاروب کنندگی رادیکال‌ها و برقراری ثبات در ماکرومولکول‌ها، از گیاه در برابر صدمات ناشی از رادیکال‌های آزاد و گونه‌های فعال اکسیژن محافظت می‌کند (۲۱). همچنین گزارش شده است که اثرات میدان‌های مغناطیسی نه‌تنها نسخه‌برداری ژن‌های خاص و رشد یاخته‌ای را تغییر می‌دهد بلکه فرایندهای انتقال پیام غشایی، به‌ویژه انتقال کلسیم را نیز زیر تأثیر قرار می‌دهد. احتمال دارد میدان مغناطیسی منجر به تجمع کلسیم در گیاه گردد و این تجمع باعث افزایش محتوی پرولین می‌شود (۵۰). در راستای مطالعه‌ی حاضر، تحقیقات مشابه‌ی انجام شده است. در پژوهشی نشان داده شده است که میزان پرولین در نخل تحت تیمار با میدان مغناطیسی افزایش یافت(۱۰). Selim و Nady (۴۰) گزارش کردند که پرولین در بوته‌های گوجه‌فرنگی تحت تأثیر میدان مغناطیسی بودند بالا رفت که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد.

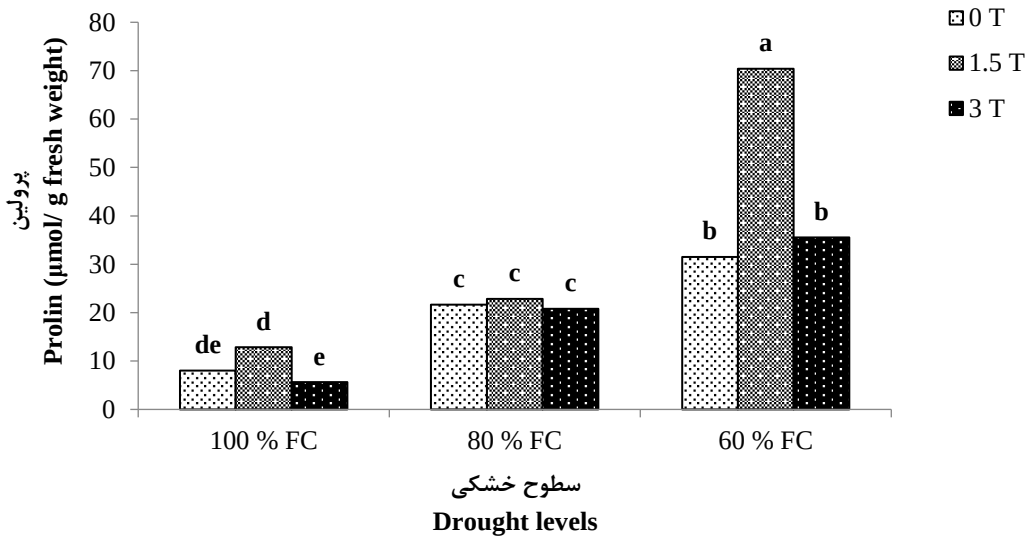

Fig. 11. Interaction of drought stress levels and magnetic fields on prolin of marigold (*Calendula officinalis* L.). Means with similar letters are not significantly different at 5% level of probability using Duncan test.

شکل ۱۱- برهمکنش سطوح مختلف خشکی و میدان‌های مغناطیسی بر میزان پرولین همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.). میانگین‌های دارای حرف‌های مشترک، بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ ٪ اختلاف معنی‌داری ندارد.

میزان فنول

برهمکنش سطوح مختلف آبیاری و جریان میدان مغناطیسی بر میزان فنول کل نشان داد، بیش‌ترین میزان فنول کل مربوط به تیمار ۶۰ ٪ ظرفیت مزرعه‌ای و میدان مغناطیسی ۱/۵ تسلا بود (۱/۷۳ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک). کمترین میزان فنول کل نیز با میانگین ۰/۱۳ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک در تیمار ۱۰۰ ٪ ظرفیت مزرعه‌ای و میدان مغناطیسی ۳ تسلا مشاهده شد، با این وجود تفاوت معنی‌داری بین این تیمار و تیمار ۱۰۰ ٪ ظرفیت مزرعه‌ای و بدون جریان مغناطیسی وجود نداشت (شکل ۱۲). فنول‌ها جز ترکیبات ثانویه گیاهی هستند و شامل لیگنین‌ها، فلاونوئیدها و تانن‌ها می‌باشند و طیف گسترده‌ای از اثرات مطلوب زیستی از جمله ویژگی‌های ضداکسایشی دارند. ترکیبات فنولی باعث حفاظت یاخته‌ها در برابر رادیکال‌های آزاد می‌شوند (۳۶). در پژوهش حاضر افزایش خشکی منجر به افزایش فنول کل شد. در واقع تنش خشکی با تولید رادیکال‌های آزاد باعث آسیب به گیاهان شده و در این راستا گیاهان می‌توانند با تولید ترکیبات آنتی‌اکسیدانتی مانند ترکیبات فنولی از ساختارهای یاخته‌ای خود در برابر رادیکال‌های فعال تولیدشده در شرایط تنش محافظت کنند (۴۴). در پژوهشی، Habibi (۱۷) اثرات تنش خشکی بر گیاه آلوئه‌ورا را مورد بررسی قرار داد و گزارش داد که فنول در گیاهان تیمار شده با تنش ملایم خشکی افزایش یافت. در بررسی اثرات تنش خشکی بر شب‌بو مشاهده شد که میزان فنول در گیاهان تحت تنش خشکی متوسط و شدید از نظر آماری افزایش معنی‌دار داشت (۱۹). در این پژوهش اعمال میدان مغناطیسی با شدت ملایم سبب افزایش ترکیبات فنولی شد. با توجه به نتایج،میزان ترکیبات فنولی با اعمال میدان مغناطیسی تحت شرایط تنش خشکی افزایش یافت و ازآنجایی‌که ترکیبات فنولی به‌عنوان آنتی‌اکسیدان عمل می‌کنند با پاکروبی رادیکال‌های آزاد از پراکسیداسیون لیپیدی غشاء جلوگیری به عمل می‌آورد (۱۸).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.4.2.6]

برخی تحقیقات نشان داده است که میدان مغناطیسی می‌تواند به تولید و یا افزایش تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن منجر شود. این رادیکال‌ها می‌توانند نقش دوگانه‌ای داشته باشند. به‌طوری‌که از یک‌سو باعث تخریب در یاخته شود و از سوی دیگر، به‌عنوان سیگنال موجب به راه افتادن مکانیسم‌هایی دفاعی در یاخته شوند (۸). ازآنجایی‌که ترکیبات فنولی به‌عنوان یک مکانیسم دفاعی در شرایط تنش‌زای محیطی توسط گیاه به‌عنوان ترکیبات ثانویه تولید می‌شود. در بادام ایرانی تحت تأثیر امواج مغناطیسی محتوای فنولی کل افزایش یافته است (۳). افزایش فنول کل در کتان تحت تیمار میدان مغناطیسی گزارش شده است (۸)، که با نتایج پژوهش کنونی مطابقت دارد.

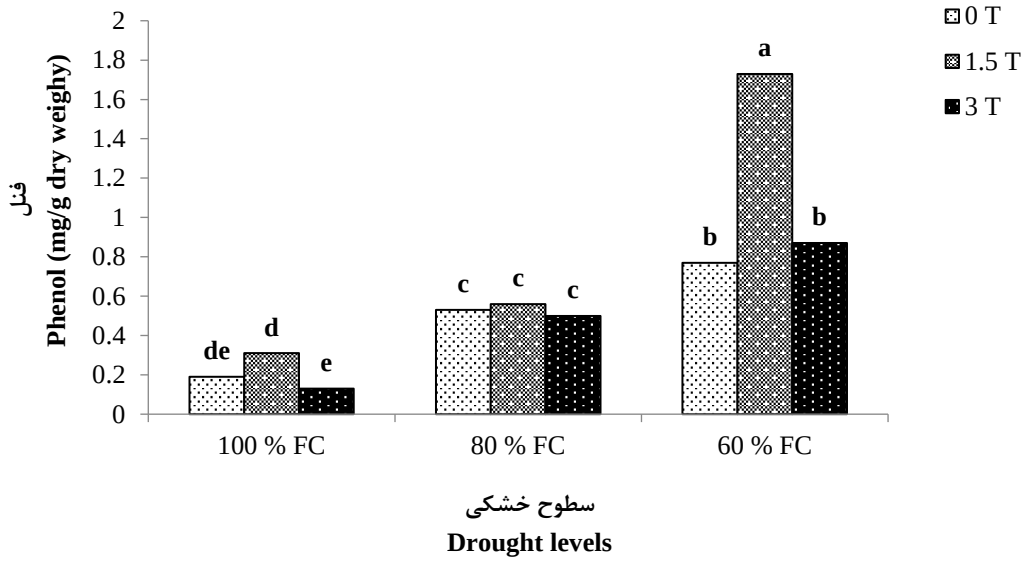

Fig. 12. Interaction of drought stress levels and magnetic fields on phenol of marigold (*Calendula officinalis* L.). Means with similar letters are not significantly different at 5% level of probability using Duncan test.

شکل ۱۲- برهمکنش سطوح مختلف خشکی و میدان‌های مغناطیسی بر میزان فنول همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.). میانگین‌های دارای حرف‌های مشترک، بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ ٪ اختلاف معنی‌داری ندارد.

نتیجه‌گیری

با توجه به یافته‌های پژوهش حاضر با کاهش میزان آبیاری ویژگی‌های مورفولوژیک مانند وزن تر برگ، وزن تر و طول ریشه، وزن تر، تعداد و قطر گل و ارتفاع بوته کاهش یافت. همچنین عامل جریان مغناطیسی نیز بر ویژگی‌های بیان شده در سطح ۱ ٪ معنی‌دار بود. به‌گونه‌ای که تیمار میدان مغناطیسی توانست وزن تر برگ را در سطح آبیاری ۶۰ ٪ ظرفیت مزرعه افزایش دهد و وزن تر گل را در تمام سطوح آبیاری افزایش داد. اثر ساده میدان مغناطیسی ۱/۵ تسلا نیز سبب افزایش اکثر ویژگی‌های مورفولوژیکی گیاه شد. میدان مغناطیسی ۱/۵ تسلا در برهم‌کنش با سطوح آبیاری سبب افزایش معنی‌دار کلروفیل کل، کربوهیدرات، پرولین و فنول کل نسبت به شاهد شد، اما تیمار مغناطیسی ۳ تسلا اثر مثبت و معنی‌داری بر ویژگی‌های گیاه نداشت. با توجه به اینکه اثرات تحریکی و ممانعتی میدان مغناطیسی به گونه گیاهی، شدت و مدت جریان بستگی دارد و با توجه به پژوهش‌های پیشین مبنی بر اینکه افزایش شدت‌جریان ممکن است اثرات نامطلوبی روی گیاه داشته باشد، در این پژوهش نشان داده شد که اعمال میدان مغناطیسی ۱/۵ تسلا بهتر از شدت‌جریان ۳ تسلا عمل کرده و اثرات مثبتی داشته است. به‌طورکلی تیمار میدان مغناطیسی به‌عنوان یک محرک نازیوا می‌تواند جایگزین روش‌های شیمیایی که اثرات نامطلوبی برای محیط‌زیست دارد، شود. انرژی این تیمار فیزیکی می‌تواند به گیاه منتقل شود و با ایجاد مکانیسم‌های مقاومت در شرایط تنش، شرایط بهتری را برای رشد گیاه فراهم کند. در پایان پیشنهاد می‌شود تأثیر میدان مغناطیسی بر تغییرات عناصر و میزان اسانس این گل بررسی

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.4.2.6]

گردد. همچنین جهت کاربردی شدن این تیمار در گل‌های فصلی، پیشنهاد می‌شود رشد و نمو گل‌های حاصل از بذرهای تیمار شده با میدان مغناطیسی بررسی گردد.

سپاسگزاری

این مقاله، برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد گروه علوم باغبانی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان می‌باشد که بدین‌وسیله از همکاری این دانشگاه محترم تقدیر می‌گردد.

منابع Refrences

1. Aalipour, H., A.Nikbakht, N. Etemadi, F. Rejali and M. Soleimani. 2020. Biochemical response and interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth promoting rhizobacteria during establishment and stimulating growth of Arizona cypress (*Cupressus arizonica* G.) under drought stress. Sci. Hort. 261: 108923.
2. Abdalla, M.M. and N.H. El-Khoshiban. 2007. The influence of water stress on growth, relative water content, photosynthetic pigments, some metabolic and hormonal contents of two *Triticum aestivum* cultivars. J. Appl. Sci. Res.3: 2062-2074.
3. Abdollahi, F., H. Amiri and V. Niknam. 2019. Effects of magnetic fields on the seed germination and metabolism in two specious of Almond. J. Plant Proc. Func. 8: 115-124. (In Persian).
4. Agustrina, R., N. Himmah, B. Irawan, S. Sumardi, M. Kanedi and S. Wahyuningsih. 2020. Effects of 0.2 mT magnetic field exposure on the growth of red chili (*Capsicum annuum* L.) infected with pathogenic fungus *Fusarium oxysporum*. W. J. Adv. Res. Rev. 5: 11-18.
5. Allen, M.M. and D.J. Allen. 2021. Acetic acid is a low cost antitranspirant that increases begonia survival under drought stress. Sci. Hort. 287: 5-28.
6. Álvarez, S. and M.J. Sánchez-Blanco. 2013. Changes in growth rate, root morphology and water use efficiency of potted *Callistemon citrinus* plants in response to different levels of water deficit. Sci. Hort. 156: 54-62.
7. Bates, L.S., R.P. Waldren and I.D. Teare. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant Soil. 39: 205-207.
8. Bilalis, D., N. Katsenios, A. Efthimiadou, A. Karkanis, E.M. Khah and T. Mitsis. 2013. Magnetic field pre-sowing treatment as an organic friendly technique to promote plant growth and chemical elements accumulation in early stages of cotton. Aust. J. Crop Sci. 7: 46-50.
9. Cardoso, J.C., E.O. Ono and J.D. Rodrigues, 2012. Gibberellic acid in vegetative and reproductive development of P*halaenopsis orchid* hybrid genus. Hort. Brasil. 30: 71-74.
10. Dhawi, F. 2014. Why magnetic fields are used to enhance a plant's growth and productivity? Ann. Res. Rev. Biol. 4: 886-896.
11. Dole, J.M. and H.F. Wilkins, 2005. Floriculture: principles and species, 2nd edition. Pearson prntice Hall, Upper Saddle River, New Jersey. 347 pp.
12. Dubois, M., K.A. Gilles, J.K. Hamilton, P.T. Rebers and F. Smith. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Anal. Chem. 28: 350-356.
13. Faqenabi, F., M.Tajbakhsh, I. Bernooshi, M. Saber-Rezaii, F. Tahri, S. Parvizi, M. Izadkhah, A. Gorttapeh and H. Sedqi. 2009. The effect of magnetic field on growth development and yield of sunflower and its comparison with other treatments. Res. J. Biol. Sci. 4: 174-178.
14. Garcia, F., M. Ramirez, C. Padrino and M. Victoria. 2008. Germination of grass seeds subjected to stationary magnetic field. Ing. Recursos Nat. Amb. 7: 12-17.
15. Golbaz, G. and B. Kaviani. 2019. Effect of magnetic field on growth and development parameters of *Rudbeckia hirta* L. seed in dry and humid conditions. J. Ornamental Plants. 9: 233-243.
16. Goldani, M. and M. Kamali. 2011. Effect of exogenous application of hydrogen peroxide on water deficit stress in glob amaranth (*Gomphrena globosa* L.) and ornamental amaranth (*Amaranthus tricolor* L.). J. Water Soil. 10:65-81. (In Persian).
17. Habibi, G. 2018. Effects of mild and severe drought stress on the biomass, phenolic compounds production and photochemical activity of *Aloe vera* (L.) Burm. f. Acta Agric. Slovenica. 111: 463-476.
18. Hozayn, M., A.A. EL-Mahdy and H.M.H. Abdel-Rahman. 2015. Effect of magnetic field on germination, seedling growth and cytogenetic of onion (*Allium cepa* L.). Afri. J. Agric. Res. 10: 849-857.
19. Jafari, S., S.E.H. Garmdareh and B. Azadegan. 2019. Effects of drought stress on morphological, physiological, and biochemical characteristics of stock plant (*Matthiola incana* L.). Sci. Hort. 253: 128-133
20. Jafarzadeh, L., H. Omidi and N. Jafari. 2010. The effect of drought stress on vegetative growth, essential oil and proline content of *Calendula officinalis* L. 4th Int. Conf. Biol. Iran.12: 61-62. (In Persian).
21. Jalilzadeh, E., R. Jamei and S. Hosseini Sarghein. 2017. Effect of magnetic field and silver nanoparticles on some biochemical factors of *Calendula officinalis* L. Modares J. Biotech. 8:10-20. (In Persian).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.4.2.6]

22. Jedrzejuk, A., A. Lukaszewska and A. Pacholczak. 2016. Effects of $CaCl_2$ solutions to alleviate drought stress effects in potted ornamentals *Salvia splendens* and *Ageratum houstonianum*. Acta Agrobotanica. 69: 1-11.
23. Karamian Hasan Abadi, Z., H.R. Eisvand, M. Daneshvar and O. Akbarpour. 2021. Study the effect of drought stress and iron oxide nanoparticle foliar application on quantitative and qualitative traits of sesame (*Sesamum indicum* L.). Env. Stresses Crop Sci. 14: 375-386. (In Persian).
24. Keshavarz, S., M. Solgi, H. Bagheri and I. Shahrjerdi. 2020. The application of biochar with humic acid for resistance to drought stress in Zinnia. Appl. Biol. 33: 148-174. (In Persian).
25. Khalid, K.H.A. 2006 .Influence of water stress on growth, essential oil and chemical composition of herbs (*Ocimum sp*.). Int. Agrophysics. 20: 289-296.
26. Lichtenthaler, H.K. 1987. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. Int. Meth. Enzymol. 148: 350-382.
27. Marinova, D., F. Ribarov and M. Atanassova. 2005. Total phenolics and total flavonoids in Bolgarian fruits and vegetables. J. Univ. Chem. Technol. Metallurgy. 40: 255-260.
28. Mirshekari, B., M.R.G. Tabrizi and S.B. Kouchebagh. 2015. Magnetic field induction stimulates marigold growth characteristics responsible for its productivity under greenhouse induction. Biological Forum. 7: 1070-1074.
29. Mishra, A.K., A. Mishra and A. Chattopadhyay. 2012. Assessment of *in vitro* sun protection factor of *Calendula officinalis* L. (Asteraseae) essential oil formulation. J. Young Pharm. 4: 17-21.
30. Mohammadi, T.A., A.T. Tofighi and B. Kaviani. 2018. Impact of potassium on the yield of lily (*Lilium longifolium× Asiatic* cv. Termoli) and antioxidant enzyme activities under drought stress. J. Plant Proc. Func. 7: 29-38. (In Persian).
31. Moradi Dastjerdi, L., S. Kalateh, F. Fatehi and M. Ghanbari Jahromi. 2021. Investigating the effect of mycorrhizal arbuscular fungus and vermiculus solubilizing on morphological and physiological traits of Gazania under drought stress conditions. J. Plant Prodc. 44: 195-210. (In Persian).
32. Nanshu, L.U.O. 2011. Effects of drought stress on seed germination and seedling growth of *Mirabilis jalapa* [J]. Hunan Agric. Sci. 23: 73-78.
33. Oraee, A., A. Tehranifar, A. Nezami and M. Shoor. 2018. Effects of drought stress on cold hardiness of non-acclimated viola (*Viola× wittrockiana* 'Iona Gold with Blotch') in controlled conditions. Sci. Hort. 39: 359-370.
34. Ozel, H.B., E. Kirdar and N. Bilir. 2015. The effects of magnetic field on germination of the seeds of oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky.) and growth of seedlings. Agric. For. 61: 195-206.
35. Puneet, K. and D. Mukherjee. 2017. Drought stress effect on *Calendula officinalis* L. and *Gaillardia pulchella* Foug. flowers and comparison of stressed with non-stressed flowers. Trends Biosci. 10: 7740-7744
36. Raghavendra, H., B. Vijayananda, G. Madhumathi and A. Hiremath. 2010. *In vitro* antioxidant activity of *Vitex negundo* L. Leaf extracts. Chiang Mai J. Sci. 37: 489-497.
37. Rahdari, P. and S.M. Hoseini. 2012. Drought stress. Int. J. Plant Prod. 10: 443-446.
38. Rydlova, J. and D. Püschel. 2020. Arbuscular mycorrhiza, but not hydrogel, alleviates drought stress of ornamental plants in peat-based substrate. Appl. Soil Ecol. 146: 103394.
39. Sadeghi, H. and L. Rostami. 2016. Evaluating the physiological and hormonal responses of caper plant (*Capparis spinosa*) subjected to drought and salinity. Desert. 21:49-55.
40. Selim H. and M. El-Nady. 2011. Physio-anatomical responses of drought stressed tomato plants to magnetic field. Acta Astronautica. 69: 387-396.
41. Shabrangi, A. and A. Majd. 2009. Effect of magnetic fields on growth and antioxidant systems in sgricultural plants. Afr. J. Biotech. 10: 9362-9369.
42. Soroori, S., E. Danaee, K. Hemmati, A.L. Moghadam and I. Garmsar. 2021. Effect of foliar application of proline on morphological and physiological traits of *Calendula officinalis* L. under drought stress. J. Ornamental Plants. 11: 13-30.
43. Su, W., Z. Su, L. Lin and X. Pu-Yang. 2015. Effects of antitranspirant on physiological characteristics of *Bougainvillea spectabilis* under drought stress. Acta Agric. Zhejiangensis. 27: 2122-2128.
44. Tavakol-afshar, R. and A. Shayanfar. 2015. Seed physiology. Tehran University Press. 470 pp.
45. Toscano, S. and D. Romano. 2021. Morphological, physiological, and biochemical responses of *Zinnia* to drought stress. J. Hort. 7: 1-18.
46. Van, P.T., J.A.T. da Silva and M. Tanaka. 2012. Effects of permanent magnetic fields on *in vitro* growth of Cymbidium and Spathiphyllum shoots. *In Vitro* Cellular Dev. Biol. Plant. 48: 225-232.
47. Wellburn, A.R. 1994. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. J. Plant Physiol. 144: 307-313
48. Yamamoto, A. and J.M. Turgeon. 1997. Field emergence of soild matrix seed primed turfgrasses. Crop Sci. 37: 220-225.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.4.2.6]

49. Yang, P., T. Gan, W. Pi, M. Cao, D. Chen and J. Luo. 2021. Effect of using *Celosia argentea* grown from seeds treated with a magnetic field to conduct Cd phytoremediation in drought stress conditions. Chemosphere, 280: 130724.
50. Yost, M.G. and R.P. Liburdy. 1992. Time-varying and static magnetic fields act in combination to alter calcium signal transduction in the lymphocyte. FEBS Letters. 223-234.
51. Zaredost, F., D. Hashemabadi and M. Jadid Soleimandarabi. 2017. Effect of strengths and exposure durations of magnetic field on seeds germination of *Catharanthus roseus* cv. Acillata. J. Ornamental Plants. 7: 93-102.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.4.2.6]

Iranian Journal of Horticultural Science and Technology 23 (4): 576-584 (2022)
Research article

Effect of Magnetic Field on Morphophysiological Characteristics of Marigold under Different Levels of Drought Stress

F. Safari and M. Salehi Salmi[1]

Despite of physiological and biochemical investigation on plants responses to drought stress, many plants, including calendula, can not cope with stress through internal mechanisms. Therefore, the aim of this study was to reduce the negative effects of drought stress on calendula using magnetic field as an environmentally friendly method. This experiment was performed as a factorial (2 factors) in a completely randomized design with 11 replications. Factors included tree levels of magnetic field (zero, 1.5 and 3 Tesla) and tree levels of drought stress (100, 80 and 60 perecentage of field capacity). The results showed that with decreasing irrigation, morphological characteristics such as leaf fresh weight, fresh weight and root length, fresh weight, number and diameter of flowers, height decreased. The magnetic field factor was also significant on the properties expressed at the 1% level. So that the magnetic field treatment was able to increase the fresh weight of leaves at the irrigation level of 60 % of field capacity and increased the fresh weight of flowers at all levels of irrigation. Treatment with 1.5 T magnetic field in interaction with irrigation levels caused a significant increase in total chlorophyll, carbohydrate, proline and total phenol compared to the control. However, 3 T magnetic treatment did not show a positive and significant effect on plant traits. In general, the treatment of magnetic fields by creating resistance mechanisms in drought stress conditions can replace chemical methods that have adverse effects on the environment.

Keywords: Landscape, Non-Chemical, Osmolite, Pigment, Water deficient.

1. M.Sc. Student and Associate Professor, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources of Khuzestan University, Iran, respectively.
Corresponding Author, Email: (Salehi@asnrukh.ac.ir).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-01-29]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.4.2.6]