پژوهش در علوم باغبانی
جلد۳، شماره۱، بهار و تابستان ۱۴۰۳ (ص۱۷۰-۱۴۹)
تارنمای مجله https://rhsj.areeo.ac.ir
مقاله علمی پژوهشی
rhsj.2025.367202.1106/10.22092
Journal of Research in Horticultural Science
Vol. 3, No.1 spring and summer 2024 (149-170)

تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری و محلول‌پاشی کلات آهن روی صفات فیزیولوژیک و شاخص‌های فلورسانس کلروفیل گل‌گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis* L.)

زهرا نقوی[۱]، سید علی محمد مدرس ثانوی[۱*]، علی حیدرزاده[۱]، امیر محمد عابدی[۱]
۱- دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۷/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۱۵

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر محلول‌پاشی کلات آهن بر گیاه دارویی گل‌گاوزبان در شرایط تنش کم‌آبی، یک آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در شرایط کنترل شده اتاقک رشد گروه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس انجام شد. در این آزمایش، عوامل مورد بررسی شامل رژیم‌های مختلف آبیاری در چهار سطح (آبیاری مطلوب، تنش کم‌آبی ملایم، تنش کم‌آبی متوسط و تنش کم‌آبی شدید) به‌ترتیب آبیاری به‌صورت تخلیه ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد آب قابل استفاده در محیط ریشه انجام شد و محلول‌پاشی با کلات آهن ۹٪ خضراء پنج سطح (شاهد (آب مقطر)، ۷۵، ۱۵۰، ۲۲۵ و ۳۰۰ پی‌پی‌ام) بود. نتایج نشان داد که تیمار محلول‌پاشی با ۱۵۰پی‌پی‌ام نانو کلات آهن در شرایط آبیاری مطلوب باعث افزایش ارتفاع ۱۲/۵۳درصدی نسبت به تیمار شاهد شد. بیشترین تعداد گل در تیمار محلول‌پاشی با ۷۵پی‌پی‌ام کلات آهن در شرایط تنش کم‌آبیاری ملایم به طور متوسط با ۲۹/۶۷ گل تولید شد. تیمار محلول‌پاشی با ۱۵۰پی‌پی‌ام کلات آهن، در شرایط آبیاری مطلوب بیشترین کارایی کوانتومی فتوسیستم II را داشت؛ اما در تنش کم‌آبی ملایم، متوسط و شدید محلول‌پاشی کلات آهن ۷۵ پی‌پی‌ام بالاترین میزان کارایی کوانتومی فتوسنتز را نشان داد. د.

واژگان کلیدی: ارتفاع ساقه، تعداد سرشاخه، فلورسانس کلروفیل، کارایی کوانتمی فتوسیستمII.

The effect of different irrigation regimens and iron chelate foliar applications on physiological traits and chlorophyll fluorescence indices of European borage (*Borago officinalis* L.)

Zahra Naghavi[1], Seyed Ali Mohammad Modarres-Sanavy[1*] and Ali Heidarzadeh[1], Amir Mohammad Abedi[1]
1-Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Iran.

Received : October 2023 Accepted: January 2025

Abstract

To investigate the effect of foliar application of iron chelate on the medicinal plant borage (Borago officinalis) under drought stress conditions, a factorial experiment was conducted in a completely randomized design (CRD) with three replications under controlled conditions in the growth chamber of the Agronomy Department, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University. In this experiment, the studied factors included different irrigation regimes at four levels (optimal irrigation, mild water deficit stress, moderate water deficit stress, and severe water deficit stress), corresponding to 20%, 40%, 60%, and 80% depletion of available water in the root zone, respectively. Foliar application of 9% iron chelate was performed at five levels (0, 75 ppm, 150 ppm, 225 ppm, and 300 ppm). The results showed that foliar application of 150 ppm nano iron chelate under optimal irrigation conditions increased plant height by 12.53% compared to the control treatment. The highest number of flowers was observed with foliar application of 75 ppm iron chelate under mild water deficit stress, producing an average of 29.67 flowers. Foliar application of 150 ppm iron chelate under optimal irrigation conditions resulted in the highest quantum efficiency of photosystem II. However, under mild, moderate, and severe water deficit stress, foliar application of 75 ppm iron chelate demonstrated the highest quantum efficiency of photosynthesis.

Keywords:Chlorophyll fluorescence, Number of branches, Photosystem II quantum efficiency, Stem height

*نویسنده مسئول: modaresa@modares.ac.ir

۱- مقدمه

گل‌گاوزبان اروپایی با نام علمی *Borago officinalis* L. گیاهی دارویی از تیره گاوزبان، علفی و یک‌ساله است. برگ‌های این گیاه ساده و پوشیده از تارهای خشن، گل‌های آن به رنگ آبی است (Sheikhpour *et al.*, 2014). این گیاه دارای ریشه‌های عمیق است که به صورت عمودی تا عمق ۴۰-۳۰ سانتی‌متری در خاک نفوذ می‌کند و به علت داشتن ریشه‌های اصلی و فرعی در اعماق خاک می‌تواند آب و عناصر غذایی مورد نیاز خود را جذب و لذا تا حدی در برابر خشکی متحمل است (رمضانی و همکاران، ۱۳۹۶). این گیاه همچنین به عنوان "گل ستاره‌ای" شناخته می‌شود، منشا آن سوریه است، اما در سراسر منطقه مدیترانه، و همچنین آسیای صغیر، اروپا، آفریقای شمالی و آمریکای جنوبی یافت می‌شود (Slama *et al.*, 2024). گل‌گاوزبان اروپایی محتوی مواد موسیلاژی، ساپونین، تانن، مقادیر قابل توجهی عناصر معدنی و همچنین حاوی مقادیر کمی اسانس می‌باشد (امید بیگی، ۱۳۸۹). روغن دانه گل‌گاوزبان غنی از اسید گاما لینولنیک (۲۶ تا ۳۸ درصد) است که به عنوان مکمل غذایی یا غذایی استفاده می‌شود. به غیر از این حاوی اسیدهای چرب زیادی مانند اسید لینولئیک (۳۵٪-۳۸٪)، اسید اولئیک (۱۶٪-۲۰٪)، اسید پالمیتیک (۱۰٪ - ۱۱٪)، اسید استئاریک (۳/۵٪ - ۴/۵٪)، ایکوزنوئیک اسید (۳/۵٪ -۵/۵٪) و اسید اروسیک (۱/۵٪ -۳/۵٪) می‌باشد (Asadi-Saman *et al.*, 2014). گل گاوزبان، آرام‌بخش بوده و در کاهش استرس تأثیری فوق‌العاده دارد. همچنین غنی از مواد معدنی و پتاسیم است و از آن در تسکین درد، برطرف نمودن اختلالات کلیه و مثانه، تصفیه و دهیدروژنه کردن خون، درمان التهاب روده، رماتیسم و عوارض ناشی از یائسگی و برونشیت استفاده می‌کنند (Karimi *et al.*, 2018).

خشک‌سالی و کم‌آبی در ایران یک پدیده اقلیمی است و با توجه به روند روزافزون نیاز بخش‌های مختلف به آب، مشکل کم‌آبی در سال‌های آینده نیز چشم گیرتر خواهد شد. از طرفی با توجه به کمبود شدید منابع آبی، در آینده نزدیک مدیریت منابع آب به منظور بهره‌وری و افزایش راندمان مصرف آب از اهمیت خاصی برخوردار خواهد بود (Baghizade *et al*., 2019). در شرایط کنونی کشور، تغییر الگوی کشت محصولات زراعی آب‌بر به سمت گیاهان دارویی، به‌جهت حفظ منابع پایه و ارزش افزوده بالا، اهمیت بسزایی دارد (خرم دل، ۱۳۹۶). کشور ایران با داشتن اقلیم‌های متفاوت دارای تنوع گیاهان دارویی زیادی می‌باشد. بررسی وضعیت رشد گیاهان دارویی در شرایط تنش خشکی می‌تواند منجر به کشت گیاهان مقاوم در مناطق خشک یا کم آب شود (توحیدی و همکاران، ۱۴۰۰). از طرفی، پیدا کردن گیاهان دارویی مقاوم به تنش کمآبی در کشور بسیار ارزشمند میباشد (حیدرزاده و همکاران، ۱۴۰۰). کیفیت مطلوب گیاهان دارویی ایران فرصت مغتنمی برای صادرات مواد خام و فرآورده‌های آن پیشرو قرار داده است. که با احیای ظرفیت‌های اکولوژیک از این رویکرد، ارتقای کیفی محصولات گیاهان دارویی، دستیابی به سهم مناسب از بازرگانی جهانی گیاهان دارویی و کاهش مصرف آب را به دنبال خواهد داشت (لباسچی،۱۳۹۷). Dastborhan و Ghassemi-Golezani (2015)گزارش کردند که تنش کم‌آبی به‌صورت معنی‌داری باعث کاهش عملکرد دانه و افزایش میزان روغن دانه در گیاه گل‌گاوزبان اروپایی می‌شود. با وجود این که تنش خشکی عموماً به‌عنوان یک فاکتور منفی عامل کاهش شدید محصولات کشاورزی می‌باشد در گیاهان دارویی وضعیت متفاوت می‌باشد. در این گیاهان تنش خشکی می‌تواند موجب

افزایش غلظت انواع مختلف متابولیت‌های ثانویه و در نتیجه افزایش کیفیت این محصولات شود (Kleinwächter and Selmar, 2015). تنش آبی منجر به بسته شدن روزنه‌ها، کاهش پتانسیل آب و جذب CO_2 می‌شود، بنابراین منجر به مهار فتوسنتز می‌شود (Prasch and Sonnewald, 2015). بر اساس نتایج به دست آمده، تنش خشکی باعث کاهش فتوسنتز به واسطه‌ی کاهش عملکرد فتوسیستم II در برگ‌های سویا گردید ولی کاربرد آهن و روی باعث بهبود آن شد (Movahhedi Dehnavi and Jalil Sheshbahre, 2017).

جذب بهینه عناصر ریزمغذی مانند آهن (Fe) برای متابولیسم گیاه مهم است زیرا در چندین فرایند متابولیکی و آنزیمی مانند انتقال الکترون، تثبیت نیتروژن، سنتز هورمون‌ها، DNA و غیره شرکت می‌کند (Fernandez *et al.,* 2008). آهن عمدتاً به شکل Fe^{3+} نامحلول است، مخصوصاً در pH بالا و خاک‌های هوازی. بنابراین، برخی از خاک‌ها به طور کلی دارای کمبود شکل موجود Fe^{2+} هستند (Ye *et al*., 2015). آهن بخشی از ساختار پروتئین‌های دارای آهن-گوگرد و همچنین غیرهم پروتئین‌ها می‌باشد که در طی فتوسنتز، تنفس و تثبیت نیتروژن در گیاه مورد نیاز می‌باشد (فتحی رضایی و همکاران، ۱۳۹۸). بیوسنتز کلروفیل توسط آهن تنظیم می‌شود و تحت شرایط کمبود آهن، فعالیت فتوسنتزی گیاهان به‌شدت کاهش می‌یابد. هم چنین فعالیت آنزیم نظیر سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیدازها در شرایطی دستخوش می‌شود. از این رو تحت شرایط کمبود آهن فرایندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی طبیعی گیاهان دچار مشکل می‌شود (Chakraborty *et al*., 2012). کاربرد جایگزین عنصر آهن محلول‌پاشی پاشی برگی است که از طریق اپیدرم برگ جذب سریعی دارد و از طریق آوند چوبی و آوند آبکش به سایر قسمت‌های گیاه قابل دسترسی است (نصیری دهسرخی و همکاران، ۱۳۹۷). امروزه فناوری نانو یکی از فناوری‌های نوینی است که هنوز در مراحل ابتدایی خود قرار دارد. تفاوت اصلی فناوری نانو با سایر فناوری‌ها در مقیاس مواد و ساختارهای به کار رفته در این فناوری است. یکی از مهم‌ترین کاربردهای فناوری نانو در زمینه‌ها و گرایش‌های مختلف کشاورزی در بخش خاک و آب، استفاده از نانوکلات‌ها برای تغذیه گیاهان است (Danaee and Abdossi, 2021). قابل توجه است که افزودن آهن در فرم‌های غیر کلات به خاک‌ها مخصوصاً در خاک‌های آهکی ایران تاثیر زیادی در فراهم آوردن آهن برای گیاه و میکروارگانیسم‌های خاک ندارد. چرا که آهن آزاد به سرعت هیدراته شده و به صورت هیدروکسیدهای آهن رسوب می‌کند و قابل استفاده نیست (Banaei *et al*., 2005).

نتایج آزمایشی بر گیاه دارویی زیره سبز نشان داد که محلول‌پاشی عناصر کم مصرف (آهن و روی) در مناطقی در معرض تنش کم‌آبی، فرایندهای بیوشیمیایی و افزایش مقاومت به تنش خشکی در این گیاه داشت (Amiri Nejad *et al*., 2015). محلول پاشی عنصر کم‌مصرف آهن در مناطق در معرض تنش خشکی، می‌تواند تأثیر مفیدی در افزایش صفات فیزیولوژیکی و مقاومت به تنش خشکی در خرفه داشته باشد (مهدی نژاد و همکاران، ۱۳۹۸). در تحقیقی که Ramezani و همکاران (۲۰۱۷) روی گیاه زنیان انجام دادند مشخص شد که محلول‌پاشی سولفات روی و سولفات آهن اثر مثبت بر درصد اسانس این گیاه داشته است. در پژوهشی که تأثیر سولفات آهن و سولفات روی به میزان ۵ در هزار بر عملکرد گیاه دارویی کاسنی بررسی شد گزارش نمودند که محلول پاشی توأم سولفات روی و آهن به ترتیب موجب افزایش ۱۶ و ۸ درصدی عملکرد برگ و دانه نسبت

به شاهد گردید و همچنین محلول پاشی سولفات روی موجب افزایش ۲۱ درصدی عملکرد ریشه نسبت به تیمار شاهد شد (سپهری و همکاران، ۱۳۹۶). ایوب زاده و همکاران (۱۳۹۹) گزارش کردند با کاربرد نانو کود آهن بیشترین تعداد دانه، تعداد کپسول، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در کنجد حاصل شده است. در شرایط تنش خشکی، با محلول‌پاشی کلات آهن به‌خصوص به فرم نانو می‌توان تا حد زیادی اثرات سوء ناشی از تنش خشکی را تعدیل و عملکرد دانه گیاه را افزایش داد. (Nasiri Dehsorkhi *et al*., 2018) در آزمایشی کاربرد کلات آهن به میزان ۴۰۰ گرم در هکتار و کلات روی به میزان ۱/۱۷ کیلوگرم در هکتار در گیاه دارویی زیره سبز نشان داد که گیاهان تیمار شده با آهن و روی محتوای فنول کل را نسبت به گیاهان شاهد افزایش دادند در گیاه زیره تیمار شده با کلات روی میزان فنول کل ۲/۴۹ درصد نسبت گیاهان شاهد افزایش داشت نویسندگان اذعان داشتند که این افزایش ناشی از تأثیر روی در افزایش بیان ژن‌های مسئول در بیوسنتز ترکیبات فنولی است (Adib *et al*., 2020).

ازآنجایی که افزایش تقاضا برای محصولات گیاهی و همچنین رویکرد روبه‌رشد مصرف فرآورده‌های گیاهی به‌خصوص گیاهان دارویی برای درمان بیماری‌ها یا تأمین سلامت جامعه و بقاء از موارد بسیار مهمی است که در توسعه پایدار در بخش کشاورزی بایستی مورد توجه قرارداد، انجام این مطالعه به‌منظور بررسی پاسخ گل‌گاوزبان‌اروپایی به غلظت‌های مختلف محلول‌پاشی نانو کلات آهن و تعیین آستانه تحمل گل‌گاوزبان‌اروپایی به شرایط تنش کم‌آبی ضرورت دارد.

۲- مواد و روش‌ها

این مطالعه در سال زراعی ۱۳۹۸ در اتاقک رشد گروه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس تهران، که در ۱۷ کیلومتری غرب تهران واقع شده است، با مختصات جغرافیایی ۳۵ درجه و ۷۴ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۱۶ دقیقه طول شرقی و ارتفاع ۱۲۷۵ متر از سطح دریا، در خاکی با بافت لومی رسی اجرا گردید.

این پژوهش به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار و دو عامل مستقل شامل رژیم‌های آبیاری و محلول‌پاشی نانو کلات آهن انجام شد. هر واحد آزمایشی متشکل از سه بوته گل گاوزبان در هر گلدان بود. عامل نخست، رژیم‌های مختلف آبیاری را در بر می‌گرفت که شامل چهار سطح بود: آبیاری مطلوب (آبیاری تا حد ظرفیت مزرعه پس از تخلیه ۲۰ درصد آب قابل استفاده در منطقه ریشه)، تنش کم‌آبی ملایم (تخلیه ۴۰ درصد آب قابل استفاده)، تنش کم‌آبی متوسط (تخلیه ۶۰ درصد آب قابل استفاده)، و تنش کم‌آبی شدید (تخلیه ۸۰ درصد آب قابل استفاده). عامل دوم شامل محلول‌پاشی با نانو کلات آهن نه درصد خضراء (شرکت صدور احرار شرق) در پنج سطح مختلف بود: محلول‌پاشی با آب خالص، محلول‌پاشی با غلظت‌های ۷۵، ۱۵۰، ۲۲۵ و ۳۰۰ پی‌پی‌ام بود.

در راستای ایجاد شرایط طبیعی، گلدان‌هایی بزرگ با ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر و قطر۳۵ سانتی‌متر درنظر گرفته شدند تا ریشه‌های گیاه از لحاظ گسترش نفوذ و نیز جذب آب و موادغذایی با محدودیتی مواجه نشوند. برای پر کردن گلدان‌ها، ۵۰ درصد خاک زراعی با میزان آهن پایین (کمتر از ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم)، ۲۵ درصد ماسه بادی و ۲۵ درصد پرلیت استفاده شد. پس از پر کردن همه گلدان‌ها و انتقال آن‌ها به اتاقک رشد برچسب‌های مربوط به هر تیمار و تکرار زده شد

بذرهای گل گاوزبان در تاریخ ۵ آذر ماه کاشته شدند. با توجه به نتایج آزمایش خاک و غنی بودن آن از پتاسیم، نیازی به کوددهی در هنگام آماده‌سازی

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی-شیمیایی خاک

اسیدیته خاک	کربن آلی	TNV	نیتروژن	بافت خاک	رس	سیلت	شن	رطوبت نقطه پژمردگی	ظرفیت زراعی	پتاسیم	فسفر	آهن
pH	٪						٪			mg.kg^{-1}		

بستر کشت وجود نداشت. کود فسفر به میزان ۱ گرم به هر گلدان اضافه گردید. کود نیتروژن نیز به میزان ۰/۲۷۵ گرم با توجه به نیاز گیاه در سه مرحله مختلف به گلدان‌ها داده شد. آبیاری برای جوانه‌زنی بذرها تا قبل از اعمال تنش و برای استقرار گیاه، به میزان کافی و هر چهار روز یک‌بار انجام شد. در اتاقک رشد، دوره‌های روشنایی و تاریکی به ترتیب ۱۶ و هشت ساعت تنظیم شده بود و میانگین دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۶۰ درصد حفظ گردید.

برای تعیین مقدار بهینه نیتروژن و فسفر مورد نیاز گل گاوزبان، از مقادیر توصیه شده برای این گیاه با استناد به تجزیه گیاهی و نیازهای ضروری جهت رشد مطلوب که توسط نقد آبادی و همکاران (۱۳۸۶) ارائه شده است، استفاده گردید. طبق این توصیه‌ها، مقدار پیشنهادی نیتروژن و فسفر در فصل پاییز و هنگام آماده‌سازی زمین به ترتیب برابر با ۷۰ تا ۸۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۶۰ تا ۷۰ کیلوگرم در هکتار اکسید فسفر، و ۶۵ تا ۷۰ کیلوگرم در هکتار اکسید پتاس می‌باشد.

محلول‌پاشی نانو کلات آهن در سه نوبت صورت گرفت: اولین محلول‌پاشی در مرحله پنج برگی (یک هفته قبل از شروع تنش)، مرحله دوم قبل از گلدهی و مرحله سوم ۵۰ درصد گلدهی (بعد از دو هفته از مرحله دوم) انجام شد. برای تهیه محلول کلات آهن ابتدا میزان کلات آهن از کود خضرا استفاده شد. برای نمونه برای تهیه تیمار ۷۵ پی‌پی‌ام (۰/۰۷۵ گرم آهن در لیتر) بدین صورت عمل شد:

باتوجه به اینکه کود کلات آهن خضرا ۹ درصد بود، از رابطه یک استفاده شد:

$$\frac{\text{9 گرم آهن}}{\text{0.075 گرم آهن}} = \frac{\text{100 گرم کود خضرا}}{\text{x}} \quad \text{رابطهٔ ۱)}$$

بنابراین ۰/۸۳۳ گرم کود کلات آهن خضرا با یک لیتر آب مخلوط شد. سایر تیمارها نیز به شکل مشابه محاسبه شدند. محلول‌ها برای یکنواختی در حلالیت نانو کلات در دستگاه شیکر به مدت ۱۰ دقیقه قرار داده شد.

رژیم‌های مختلف آبیاری بعد از جوانه‌زنی و استقرار کامل گیاهچه در گلدان با استفاده از TDR بهصورت آبیاری پس از تبخیر ۲۰ (شاهد)، ۴۰ (تنش ملایم)، ۶۰ (تنش متوسط) و ۸۰ (تنش شدید) درصد آب قابل استفاده اعمال شد. رطوبت‌سنج TDR در عمق ۲۴ تا ۳۰ سانتی‌متری عمق گلدان قرار گرفت. برای ارزیابی دقت حسگرها اقدام به نمونه‌برداری از خاک و تعیین رطوبت آن شد. همزمان با دادهبرداری از رطوبت خاک با استفاده از TDR اقدام به ثبت داده‌ها (هر ۲۴ ساعت یکبار به‌مدت ۱۵ روز) شد. نمونه خاک از عمق معادل طول میله (۲۴ تا ۳۰ سانتی‌متر) هر یک از حسگرها با استفاده از مته خاک صورت گرفت و مقدار رطوبت با روش توزین اندازه‌گیری شد. چگالی ظاهری (به‌طور میانگین ۱/۵۳) هر یک از نمونه‌های خاک بعد از پایان این مرحله با سه تکرار از روش Sand Bottle و در همان عمق اندازه‌گیری شد تا برای تبدیل رطوبت وزنی به رطوبت حجمی مورد استفاده قرار گیرد. در نهایت درصد آب قابل استفاده و درصد تخلیه آب قابل استفاده مطابق رابطه سه محاسبه شد (Martin *et al*., 1990).

رابطهٔ ۲) $$D(\%) = \frac{1}{n}\sum_{1}^{n}\frac{FC_i - \theta_i}{FC_i - W_p} \times 100$$

رابطهٔ ۳) D-۱۰۰= تخلیه آب قابل استفاده (درصد)

n؛ تعداد نمونه خاک گرفتهشده از عمق مؤثر توسعه ریشه، FCi؛ رطوبت خاک در ظرفیت مزرعه در نمونه i ام، iθ؛ رطوبت خاک در نمونه i ام و W_p؛ رطوبت خاک در نقطه پژمردگی دایم. با استفاده از دادههای بهدست آمده و رابطه چهار درصد تخلیه آب قابل دسترس خاک در منطقه مؤثر ریشه ارزیابی شد:

رابطهٔ ۴) $$\text{حداکثر تخلیه مجاز (MAD)} = \frac{FC - \theta}{FC - PWP}$$

در این فرمول FC و PWP به ترتیب رطوبت خاک در محدوده ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دایم و θ درصد حجمی رطوبت خاک قبل از آبیاری میباشد. θ بر اساس تیمارهای آبیاری تنظیم شده و مقدار آب مورد نیاز برای آبیاری محاسبه گردید.

ارتفاع هر یک از سه گیاه در زمان برداشت بهطور جداگانه اندازهگیری شد. برای این منظور، یک گیاه از هر گلدان انتخاب و ارتفاع آن با استفاده از خطکش ثبت گردید، سپس میانگین ارتفاع آنها بر حسب سانتیمتر محاسبه شد. همچنین، در زمان برداشت، تعداد برگهای هر گیاه در گلدان شمارش شد و میانگین تعداد برگهای هر بوته در گلدان تعیین گردید. گیاهان گلدار در هر گلدان انتخاب شده و تعداد سرشاخههای آنها شمارش شد و میانگین تعداد سرشاخهها برای هر گلدان ثبت شد. برای اندازهگیری وزن تر گل، وزن تر برگ، و وزن تر ساقه از ترازو با دقت یک دهم گرم استفاده شد.

شاخصهای کلروفیل فلورسانس با دستگاه فلورومتر مدل PAM 2000 از شرکت Walz آلمان اندازهگیری شد. اندازهگیریها بر روی برگهایی انجام شد، که در محیط تاریکی سازگار شدند. شاخصها از ساعت ۱۱ صبح تا ۱۳ اندازهگیری شدند. دلیل انتخاب این زمان برای انجام اندازهگیری این بود که حداکثر شدت نور در این بازه زمانی واقع میشد. همچنین برای اندازهگیری از برگهای جدید و کاملاً تکامل یافته استفاده شد.

دادهها با استفاده از نرمافزار SAS تجزیه شد. برای مقایسه میانگینها از آزمون حداقل تفاوت معنیدار (LSD) در سطح ۵ درصد احتمال استفاده شد.

۳- نتایج

۳-۱- ارتفاع ساقه

نتایج نشان داد که برهمکنش رژیمهای آبیاری و محلولپاشی کلات آهن در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنیداری روی ارتفاع گذاشت (جدول ۲)، بهطوریکه تیمار محلولپاشی با ۱۵۰ پیپیام کلات آهن در شرایط آبیاری مطلوب بیشترین ارتفاع (۳۹/۳۳ سانتیمتر) را داشت (شکل ۱) و از لحاظ آماری با تیمارهای محلولپاشی با ۷۵ پیپیام (۳۷/۹۲ سانتیمتر)، ۲۲۵ پیپیام (۳۱/۵۸ سانتیمتر)، ۳۰۰ پیپیام (۳۰/۲۵ سانتیمتر) کلات آهن و بدون محلولپاشی در شرایط آبیاری مطلوب و محلولپاشی با ۱۵۰ پیپیام کلات آهن در شرایط تنش کمآبی ملایم (۳۱/۹۲ سانتیمتر) تفاوت معناداری نداشت (شکل ۱).

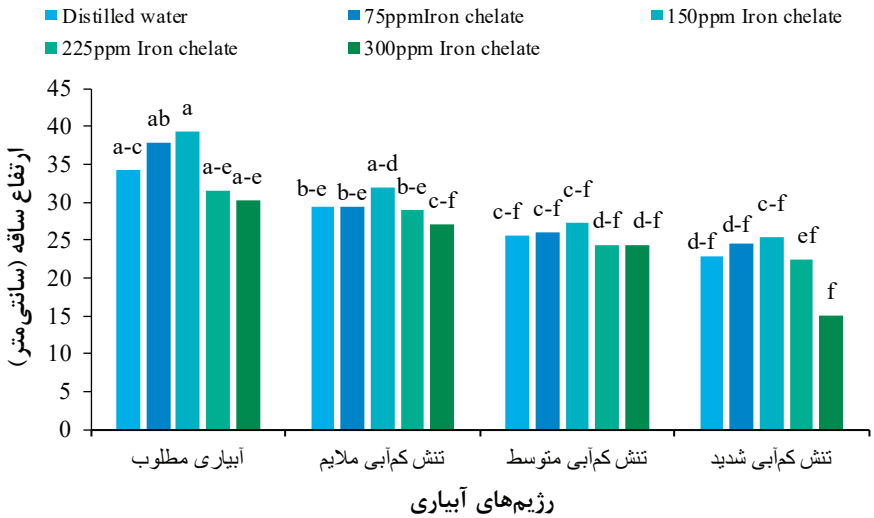
۳-۲- تعداد سرشاخه

با استناد بر دادههای تجزیه واریانس (جدول ۲) مشخص شد اثر تیمارهای محلولپاشی شده و رژیم آبیاری، همچنین برهمکنش رژیمهای آبیاری و محلولپاشی کلات آهن روی تعداد سرشاخه تأثیر

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مختلف گل‌گاوزبان اروپایی تحت تأثیر رژیم‌های آبیاری و محلول‌پاشی کلات آهن

منابع تغییر[الف]	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		ارتفاع ساقه	تعداد سرشاخه	تعداد گل	وزن تر ساقه	تعداد برگ
رژیم آبیاری (I)	۳	۱۰۷/۱۶*	۴/۴۵**	۱۱۹/۵۰**	۹۷/۰۵**	۵۱/۲۶*
محلول‌پاشی (F)	۴	۳۲/۹۶	۹/۸۶**	۲۹۷/۵۶**	۲۹/۶۷*	۷۴/۵۰**
IF	۱۲	۸۸/۳۸**	۲/۶۹**	۱۸۲/۱۲**	۲۳/۵۵*	۱۳/۴۱
خطای آزمایش	۴۰	۳۱/۵۱	۰/۳۳	۰/۱۵	۱۱/۱۶	۱۸/۷۵
ضریب تغییرات (درصد)		۱۹/۹۹	۲۱/۶۴	۴/۸۲	۲۱/۸۶	۱۹/۶۶

[الف] بدون علامت، * و ** به ترتیب به معنی عدم معنی‌دار بودن، معنی‌دار درسطح پنج و یک درصد می‌باشد.



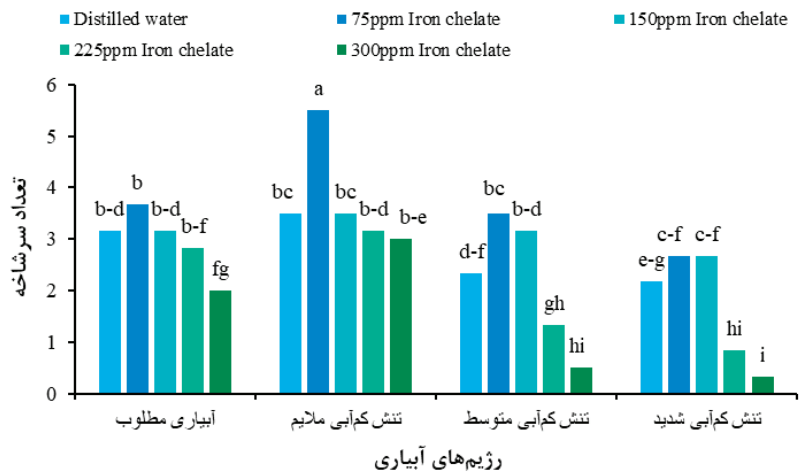
شکل ۱- مقایسه میانگین‌های اثر متقابل رژیم‌های آبیاری و محلول‌پاشی کلات آهن روی صفت ارتفاع ساقه.
حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده عدم تفاوت معنی دار ($LSD_{0.05}$) است.

معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشت.

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان میدهد که بیشترین تعداد سرشاخه در تیمار محلولپاشی با ۷۵ پی‌پی‌ام در شرایط کم‌آبیاری ملایم (۵/۵ سرشاخه) تولید شد (شکل ۲)، در حالی که کمترین مقدار آن در تیمارهای محلول‌پاشی با ۳۰۰ پی‌پی‌ام (۰/۳۳ سرشاخه) و ۲۲۵ پی‌پی‌ام (۰/۸۳ سرشاخه) در شرایط تنش کم‌آبی شدید و محلول‌پاشی با ۳۰۰ پی‌پی‌ام در شرایط آبیاری متوسط (۰/۵۰ سرشاخه) مشاهده شد (شکل ۲).

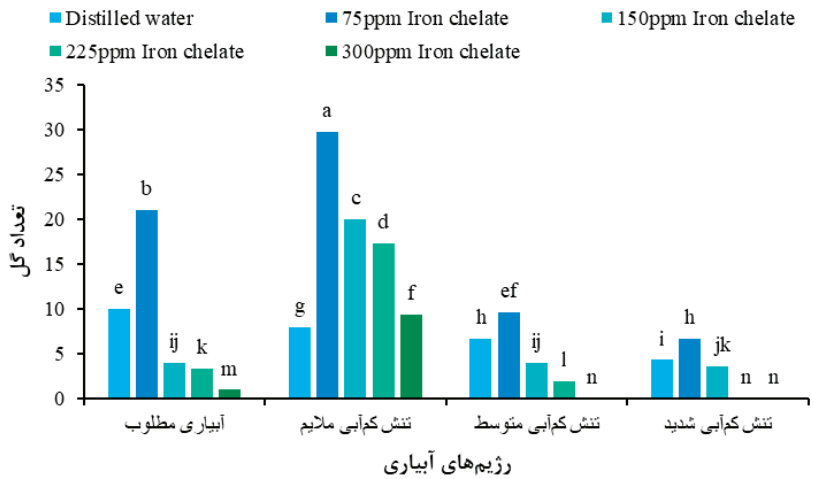
۳-۳- تعداد گل

اثرمتقابل تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی و اثرات اصلی تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی بر تعداد گل در بوته گل‌گاوزبان‌اروپایی در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که بیشترین تعداد گل در تیمار محلولپاشی با ۷۵ پی‌پی‌ام کلات آهن در شرایط کم‌آبیاری ملایم (۲۹/۶۷ گل) تولید شد (شکل ۳) در حالی که کمترین مقدار آن در تیمارهای محلولپاشی با ۳۰۰ و ۲۲۵ پی‌پی‌ام در شرایط تنش کمآبی شدید (۰ گل) و محلول‌پاشی با ۳۰۰ پی‌پی‌ام در شرایط آبیاری متوسط (۰ گل) مشاهده شد (شکل ۵-۳). در هرکدام از تیمارها با افزایش تنش کم‌آبی تعداد گل در بوته کاهش یافت (شکل ۳).



شکل ۲- مقایسه میانگین‌های اثر متقابل رژیم‌های آبیاری و محلول‌پاشی کلات آهن روی صفت تعداد سرشاخه.

حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده عدم تفاوت معنی دار ($LSD_{0.05}$) است.



شکل ۳- مقایسه میانگین‌های اثر متقابل رژیم‌های آبیاری و محلول‌پاشی کلات آهن روی صفت تعداد گل.

حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده عدم تفاوت معنی دار ($LSD_{0.05}$) است.

۳-٤- وزن تر ساقه

وزن تر ساقه از نظر رژیم‌های آبیاری در سطح احتمال یک درصد، از نظر محلول‌پاشی کلات آهن و همچنین برهم‌کنش محلول‌پاشی و رژیم آبیاری در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج نشان داد که تیمار محلولپاشی با ۱۵۰ پی‌پی‌ام کلات آهن (۳۹/۳۳ گرم) و تیمار بدون محلول‌پاشی (۲۱/۶۳ گرم) در شرایط آبیاری مطلوب بیشترین وزن را داشت (شکل ۴) و از لحاظ آماری با تیمارهای محلول‌پاشی ۱۵۰ پی‌پی‌ام (۱۹/۳۳ گرم)، ۲۲۵ پی‌پی‌ام (۱۷/۶۷ گرم) کلات آهن در شرایط آبیاری مطلوب و محلولپاشی با ۱۵۰ پی‌پی‌ام (۱۸/۵ گرم)، ۷۵ پی‌پی‌ام (۱۸/۴۵ گرم) و بدون محلول‌پاشی (۱۷/۳۸ گرم) کلات آهن در شرایط تنش کم‌آبی ملایم تفاوت معناداری نداشت (شکل ۴). درحالی که کمترین مقدار آن در تیمارهای محلولپاشی با ۳۰۰ پی‌پی‌ام در شرایط تنش کم‌آبی شدید (۹/۵۳ گرم) مشاهده شد (شکل ۴) و از لحاظ آماری با تیمارهای محلول‌پاشی ۲۲۵ پی‌پی‌ام (۱۰/۹ گرم)، ۱۵۰ پی‌پی‌ام (۱۲/۴۵ گرم)، ۷۵ پی‌پی‌ام (۱۳/۱۵ گرم) و بدون محلول پاشی (۱۲/۹

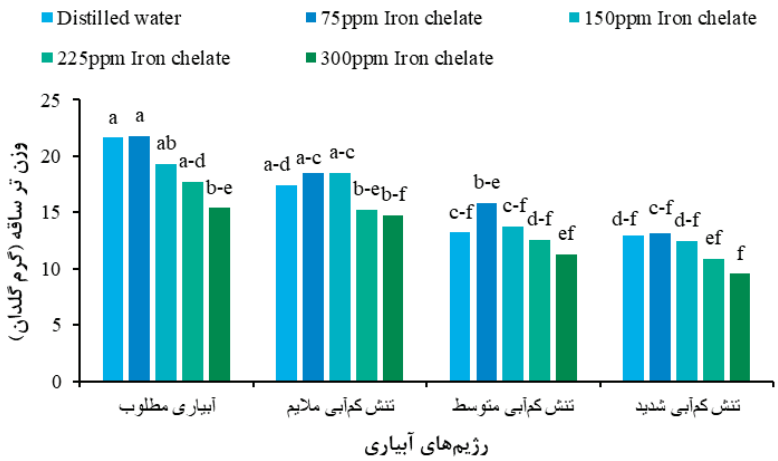
گرم) کلات آهن در شرایط تنش کم‌آبی شدید و تیمارهای محلول‌پاشی ۳۰۰ پی‌پی‌ام (۱۱/۲۳ گرم)، ۲۲۵ پی‌پی‌ام (۱۵/۵۲ گرم)، ۱۵۰ پی‌پی‌ام (۱۳/۷۷ گرم) و بدون محلول‌پاشی (۱۳/۲ گرم) کلات آهن در شرایط تنش کم‌آبی متوسط و تیمار ۳۰۰ پی‌پی‌ام (۱۴/۷۳ گرم) کلات آهن در شرایط تنش کم‌آبی ملایم تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۵-۴). نتایج نشان می‌دهد که وزن تر ساقه با افزایش تنش کم‌آبی کاهش یافته است، از طرفی محلول‌پاشی کلات آهن سبب افزایش وزن تر ساقه می‌گردد، هم‌چنین افزایش غلظت کلات آهن سبب کاهش وزن تر ساقه می‌شود (شکل ۴).

۳-۵- تعداد برگ

جدول ۲ نشان داد که اثر متقابل رژیم‌های آبیاری و محلول‌پاشی نتوانستند تعداد برگ را تحت تأثیر قرار دهند اما اثر اصلی رژیم‌های آبیاری در سطح احتمال پنج درصد و محلولپاشی کلات آهن در سطح احتمال یک درصد روی تعداد برگ تأثیر معنی‌داری را نشان دادند. بیشترین تعداد برگ در شرایط تنش کمآبی ملایم و شدید تولید شد (جدول ۴) و محلول پاشی ۷۵ و ۱۵۰ پی‌پی‌ام کلات آهن به همراه عدم محلول پاشی تعداد برگ بیشتری نسبت به استفاده از ۲۲۵ و ۳۰۰ پی‌پی‌ام کلات آهن بدست آمد (جدول ۳).

۳-۶- وزن تر برگ

جدول ۵ نشان داد که وزن تر برگ بوته از نظر رژیم‌های آبیاری در سطح یک درصد و اثر محلول‌پاشی بر وزن تر برگ در سطح احتمال پنج درصد برای این صفت معنی‌دار شد و همچنین در اثر برهمکنش رژیم آبیاری و محلول‌پاشی در سطح پنج درصد معنی‌دار گردید. نتایج نشان داد که تیمار



شکل ٤- مقایسه میانگین‌های اثر متقابل رژیم‌های آبیاری و محلول‌پاشی کلات آهن روی صفت وزن تر ساقه. حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده عدم تفاوت معنی دار ($LSD_{0.05}$) است.

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات مختلف گیاه گل‌گاوزبان‌اروپایی تحت تأثیر رژیم‌های مختلف محلول‌پاشی

تیمار (محلول‌پاشی) [الف]	تعداد برگ
آب خالص	۲۱/۹۲ab
۷۵ ppm	۲۵/۰۸a
۱۵۰ ppm	۲۳/۹۶a
۲۲۵ ppm	۱۹/۵۴b
۳۰۰ ppm	۱۹/۶۷b

[الف] میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون و تیمار، اختلاف معنی‌داری بر پایه آزمون کمترین اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

جدول ٤- مقایسه میانگین صفات مختلف گیاه گل‌گاوزبان‌اروپایی تحت تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری

رژیم‌های مختلف آبیاری [الف]	تعداد برگ
آبیاری مطلوب (I1)	۲۰/۴۳ b
تنش کم‌آبی ملایم (I2)	۲۴/۴۰ a
تنش کم‌آبی متوسط (I3)	۲۰/۷۰ b
تنش کم‌آبی شدید (I4)	۲۲/۶۰ab

[الف] میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون و تیمار، اختلاف معنی‌داری بر پایه آزمون کمترین اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

محلول‌پاشی با ۷۵ پی‌پی‌ام کلات آهن (۲۷/۵۸ گرم)، ۱۵۰ پی‌پی‌ام کلات آهن (۲۷/۰۸ گرم)، تیمار بدون محلول‌پاشی (۲۶/۲۵ گرم) در شرایط آبیاری مطلوب بیشترین مقدار را داشت (شکل ۵) و از لحاظ آماری با تیمارهای محلول‌پاشی ۷۵ پی‌پی‌ام (۲۵/۸۷ گرم)، ۱۵۰ پی‌پی‌ام (۲۵/۴۸ گرم)، تیمار بدون محلول‌پاشی (۲۴/۷۷ گرم) و ۲۲۵ پی‌پی‌ام (۲۲/۵۳ گرم) کلات آهن در شرایط کم‌آبی ملایم و محلول‌پاشی با ۱۵۰ پی‌پی‌ام (۲۳/۱۳ گرم)، ۷۵ پی‌پی‌ام (۲۲/۲۳ گرم) کلات آهن در شرایط تنش کم‌آبی متوسط تفاوت معناداری نداشت (شکل ۵). در حالی که کمترین مقدار آن در تیمارهای محلول‌پاشی با ۳۰۰ پی‌پی‌ام (۱۴/۵۳ گرم)، ۲۲۵ پی‌پی‌ام (۱۴/۹۳ گرم)، ۱۵۰ پی‌پی‌ام (۱۵/۷۷ گرم)، ۷۵ پی‌پی‌ام (۱۵/۸۳ گرم) و تیمار بدون محلول‌پاشی (۱۵/۷۷ گرم) در شرایط تنش کم‌آبی شدید مشاهده شد (شکل ۵) و از لحاظ آماری با تیمارهای محلول‌پاشی ۳۰۰ پی‌پی‌ام (۱۶/۶۶ گرم)، ۲۲۵ پی‌پی‌ام (۱۷/۸۳ گرم)، و بدون محلول‌پاشی (۱۸/۲۵ گرم) کلات آهن در شرایط تنش کم‌آبی متوسط و تیمار محلول‌پاشی ۳۰۰ پی‌پی‌ام (۱۸/۰۵ گرم) کلات آهن در شرایط تنش کم‌آبی ملایم تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۵).

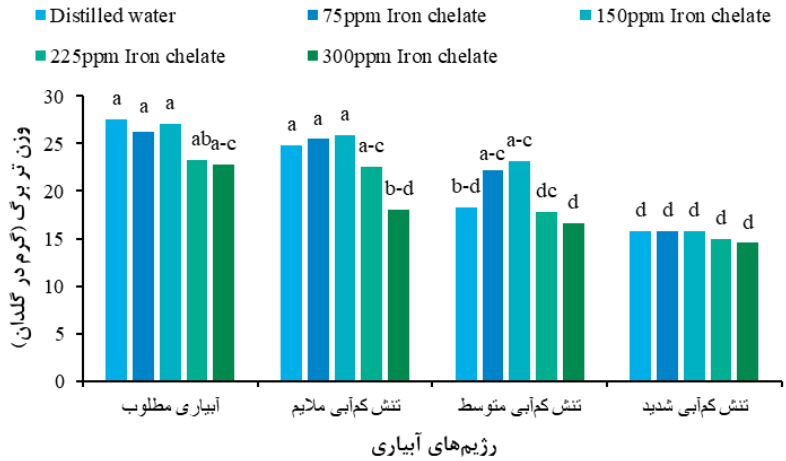
۳-۷- وزن تر سرشاخه

جدول ۵ نشان داد که وزن تر سرشاخه از نظر رژیم‌های آبیاری و اثر محلول‌پاشی کلات‌آهن در سطح یک درصد برای این صفت معنی‌دار شد و همچنین در اثر برهمکنش رژیم آبیاری و محلول‌پاشی در سطح یک درصد معنی‌دار گردید. نتایج نشان داد که تیمار محلول‌پاشی با ۷۵ پی‌پی‌ام کلات آهن

جدول ۵ -تجزیه واریانس صفات مختلف گل‌گاوزبان اروپایی تحت تأثیر رژیم‌های آبیاری و محلول‌پاشی کلات آهن

منابع تغییر [الف]	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		وزن تر برگ	وزن تر سرشاخه	وزن تر گل	وزن تر کل اندام هوایی
رژیم آبیاری (I)	۳	۱۶۱/۳۷**	۴/۳۵**	۰/۶۵**	۴۸۰/۰۴**
محلول‌پاشی (F)	۴	۲۷/۹۲*	۵/۴۵**	۱/۶۰**	۱۴۹/۹۸**
IF	۱۲	۴۷/۴۴**	۳/۱۷**	۱/۰۴**	۱۰۶/۸۴**
خطای آزمایش	۴۰	۱۰/۶۹	۰/۱۵	۰/۰۰۱۴	۳۶/۱۹
ضریب تغییرات (درصد)		۱۵/۶۲	۲۲/۶۷	۶/۴۵	۱۵/۸۶

[الف]بدون علامت، * و ** به ترتیب به معنی عدم معنی‌دار بودن، معنی‌دار درسطح پنج و یک درصد می‌باشد.



شکل ۵- مقایسه میانگین‌های اثر متقابل رژیم‌های آبیاری و محلول‌پاشی کلات آهن روی صفت وزن تر برگ.

حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده عدم تفاوت معنی دار ($LSD_{0.05}$) است.

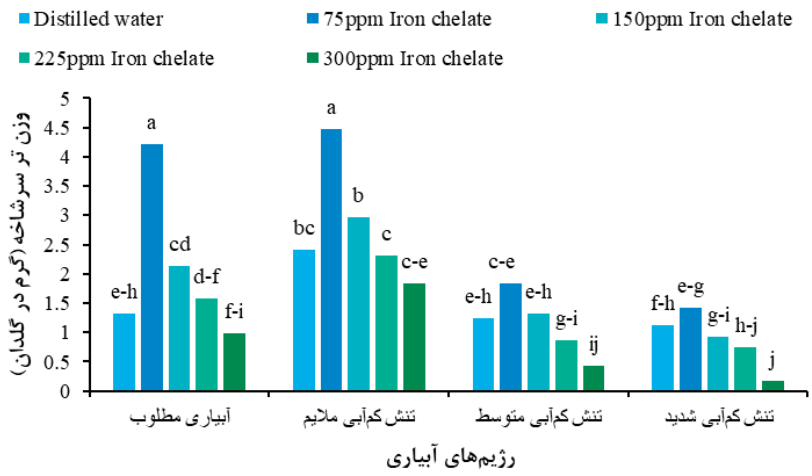
(۴/۴۸ گرم) در شرایط تنش کم‌آبی ملایم بیشترین مقدار را داشت (شکل ۶) و از لحاظ آماری با تیمار محلولپاشی ۷۵ پی‌پی‌ام (۴/۲۲ گرم)، در شرایط آبیاری مطلوب تفاوت معناداری نداشت (شکل ۶). در حالی که کمترین مقدار آن در تیمار محلولپاشی با ۳۰۰ پی‌پی‌ام کلات آهن (۰/۱۸ گرم) در شرایط تنش کمآبی شدید مشاهده شد (شکل ۶) و از لحاظ آماری با تیمارهای محلولپاشی ۳۰۰ پی‌پی‌ام (۰/۴۳ گرم) در تنش کم‌آبی متوسط و ۲۲۵ پی‌پی‌ام (۰/۷۵ گرم) در تنش کم‌آبی شدید تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۶) با افزایش میزان تنش، محلول‌پاشی کلات آهن سبب افزایش وزن تر سرشاخه می‌شود.

۳-۸- وزن تر گل

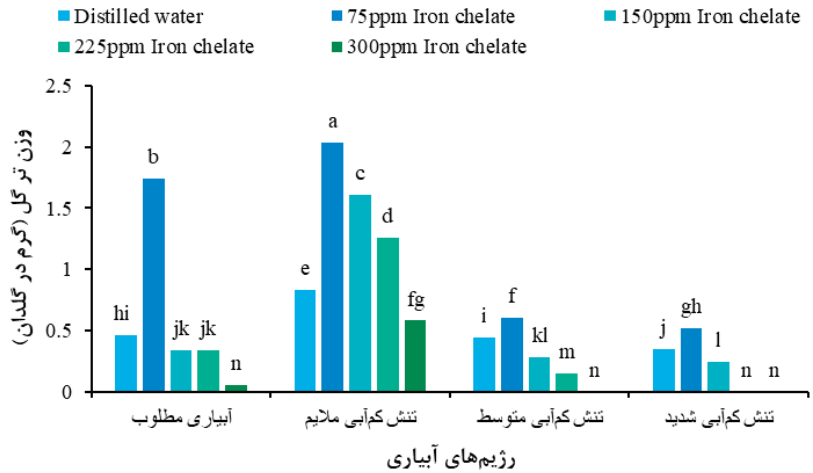
جدول ۵ نشان داد که وزن تر گل از نظر رژیم‌های آبیاری و اثر محلول‌پاشی کلات‌آهن در سطح یک درصد برای این صفت معنی‌دار شد و همچنین در اثر برهمکنش رژیم آبیاری و محلول‌پاشی در سطح یک درصد معنی‌دار گردید. نتایج نشان داد که وزن تر گل در تیمار محلول‌پاشی با ۷۵ پی‌پی‌ام کلات آهن (۲/۰۴ گرم) در شرایط تنش کم‌آبی ملایم بیشترین مقدار را داشت (شکل ۷) و کم‌ترین وزن آن در تیمارهای محلول‌پاشی با ۳۰۰ پی‌پی‌ام ، ۲۲۵ پی‌پی‌ام (۰ گرم) کلات آهن در شرایط تنش کم‌آبی شدید و ۳۰۰ پی‌پی‌ام (۰ گرم) در تنش کم‌آبی ملایم مشاهده گردید و از لحاظ آماری با ۳۰۰ پی‌پی‌ام (۰/۰۵گرم) در آبیاری مطلوب تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل۷).

۳-۹- وزن تر اندام هوایی

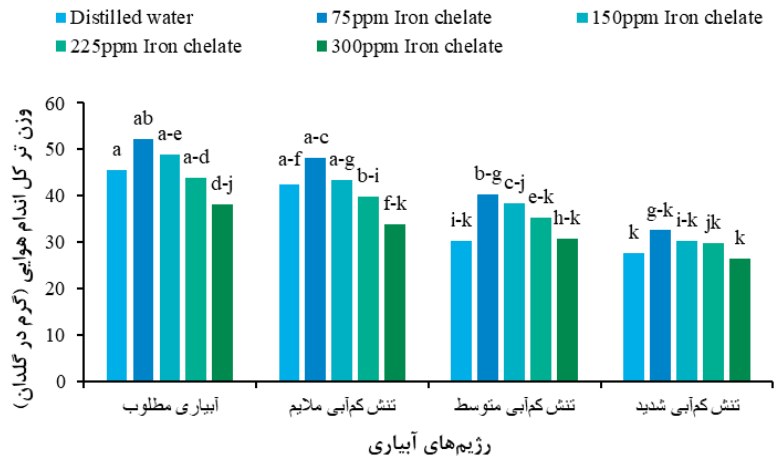
جدول ۵ نشان داد که وزن تر اندام هوایی از نظر رژیم‌های آبیاری و اثر محلول‌پاشی کلات‌آهن در سطح یک درصد برای این صفت معنی‌دار شد و همچنین در اثر برهمکنش رژیم آبیاری و محلول‌پاشی در سطح یک درصد معنی‌دار گردید. نتایج نشان داد که تیمار محلول‌پاشی با ۷۵ پی‌پی‌ام کلات آهن (۵۲/۱۸ گرم) در شرایط آبیاری مطلوب بیشترین وزن را داشت (شکل ۸) و از لحاظ آماری با تیمارهای محلول‌پاشی ۱۵۰ پی‌پی‌ام (۴۸/۹۲ گرم)، ۲۲۵ پی‌پی‌ام (۴۳/۹۹ گرم) کلات آهن و بدون محلول‌پاشی (۴۵/۶۲ گرم) در شرایط آبیاری مطلوب و محلول‌پاشی با ۷۵ پی‌پی‌ام (۴۸/۱۵ گرم)، ۱۵۰ پی‌پی‌ام (۴۳/۴۷ گرم) و بدون محلول‌پاشی (۴۲/۴۷ گرم) کلات آهن در شرایط تنش کم‌آبی ملایم



شکل ٦- مقایسه میانگین‌های اثر متقابل رژیم‌های آبیاری و محلول‌پاشی کلات آهن روی صفت وزن تر سرشاخه. حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده عدم تفاوت معنی دار ($LSD_{0.05}$) است.



شکل ۷- مقایسه میانگین‌های اثر متقابل رژیم‌های آبیاری و محلول‌پاشی کلات آهن روی صفت وزن تر گل. حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده عدم تفاوت معنی دار ($LSD_{0.05}$) است.



شکل ۸- مقایسه میانگین‌های اثر متقابل رژیم‌های آبیاری و محلول‌پاشی کلات آهن روی صفت وزن تر اندام هوایی. حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده عدم تفاوت معنی دار ($LSD_{0.05}$) است.

تفاوت معناداری نداشت (شکل ۸). در حالی که کمترین مقدار آن در تیمارهای محلول‌پاشی با ۳۰۰ پی‌پی‌ام در شرایط تنش کم‌آبی شدید (۲۶/۵۶ گرم) مشاهده شد (شکل ۸) و از لحاظ آماری با تیمارهای محلول‌پاشی ۲۲۵ پی‌پی‌ام (۲۹/۷۲ گرم)، ۱۵۰ پی‌پی‌ام (۳۰/۰۳ گرم)، ۷۵ پی‌پی‌ام (۳۲/۵۷ گرم) و بدون محلول پاشی (۲۷/۶۲ گرم) کلات آهن در شرایط تنش کم‌آبی شدید و تیمارهای محلول‌پاشی ۳۰۰ پی‌پی‌ام (۳۰/۷۶ گرم)، ۲۲۵ پی‌پی‌ام (۳۵/۳۳ گرم) در شرایط تنش کم‌آبی متوسط تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۸). با افزایش میزان تنش وزن تر اندام هوایی کاهش یافته، همچنین محلول‌پاشی کلات آهن در تیمار شاهد سبب افزایش وزن تر اندام هوایی گردید. در بخش نتایج نیز فقط تا سه عنوان فرعی که در قسمت پیشین توضیح داده شد مجاز است. سایر عناوین فرعی همانند توضیحات قبل نوشته شود. در قسمت نتایج، خلاصه جداول و شکل‌ها به‌صورتی که درک بهتری از نتایج و داده‌ها ارائه دهد همراه با رفرنس به شکل و جدول توضیح داده شود. شکل و جدول بلافاصله در انتهای پاراگرافی که بدان رفرنس داده شده با یک خط فاصله ارائه شود. پاراگراف بعدی با یک خط فاصله از شکل یا جدول آغاز شود

۳-۱۰- حداقل فلورسانس کلروفیل

نتایج بدست آمده از جدول تجزیه واریانس (جدول ۶) نشان داد که اثر اصلی محلول‌پاشی با کود کلات آهن در سطح یک درصد و برهمکنش رژیم‌آبیاری و محلول‌پاشی کلات‌آهن اثر معنی داری بر حداقل فلورسانس کلروفیل گیاه در سطح احتمال پنج درصد دارد. نتایج نشان داد که تیمار محلول‌پاشی با ۷۵ پی‌پی‌ام در شرایط آبیاری مطلوب (۵۴۴/۱) نسبت به سایر تیمارها حداقل فلورسانس کلروفیل پایین‌تری داشت و با افزایش شدت تنش آبیاری میزان حداقل فلورسانس کلروفیل افزایش یافت (شکل ۹).

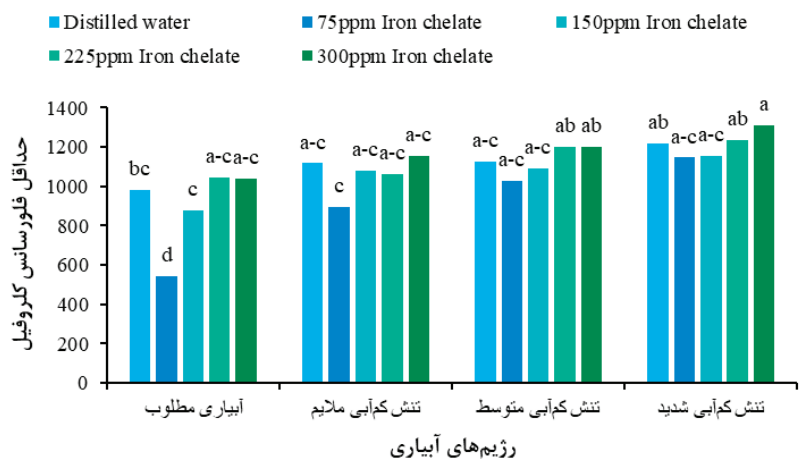
۳-۱۱- حداکثر فلورسانس کلروفیل

نتایج بدست آمده از جدول تجزیه واریانس (جدول ۶) نشان داد که اثر اصلی محلول‌پاشی کلات‌آهن در سطح یک درصد و برهمکنش رژیم‌آبیاری و محلول‌پاشی کلات‌آهن در سطح پنج درصد اثر معنی داری بر حداکثر فلورسانس کلروفیل دارد. نتایج نشان داد که حداکثر فلورسانس کلروفیل

جدول ٦- تجزیه واریانس صفات مختلف گل‌گاوزبان اروپایی تحت تأثیر رژیم‌های آبیاری و محلول‌پاشی کلات آهن

منابع تغییر[الف]	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		حداقل فلورسانس کلروفیل	حداکثر فلورسانس کلروفیل	فلورسانس متغیر کلروفیل	حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم
رژیم آبیاری (I)	۳	۷۳۲۶۵/۹۲	۲۵۸۴۶۳/۵۷	۸۸۲۱۴/۴۰	۰/۰۰۴۶**
محلول‌پاشی (F)	۴	۱۳۲۲۵۶/۳۶**	۴۹۲۲۸۹/۱۶**	۱۱۹۱۰۷/۰۸*	۰/۰۰۱۶
IF	۱۲	۶۷۴۶۵/۳۵*	۲۵۵۳۵۲/۵۴*	۶۷۷۷۹/۵۷*	۰/۰۰۲۰*
خطای آزمایش	۴۰	۳۳۳۷۰/۲۵	۱۲۳۱۸۰/۸۹	۳۲۲۵۵/۲۹	۰/۰۰۰۸۶
ضریب تغییرات (درصد)		۱۶/۹۹	۱۹/۴۰	۲۴/۴۸	۷/۳۲

[الف] بدون علامت، * و ** به ترتیب به معنی عدم معنی‌دار بودن، معنی‌دار درسطح پنج و یک درصد می‌باشد.



شکل ۹- مقایسه میانگین‌های اثر متقابل رژیم‌های آبیاری و محلول‌پاشی کلات آهن روی صفت حداقل فلورسانس کلروفیل. حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده عدم تفاوت معنی دار ($LSD_{0.05}$) است.

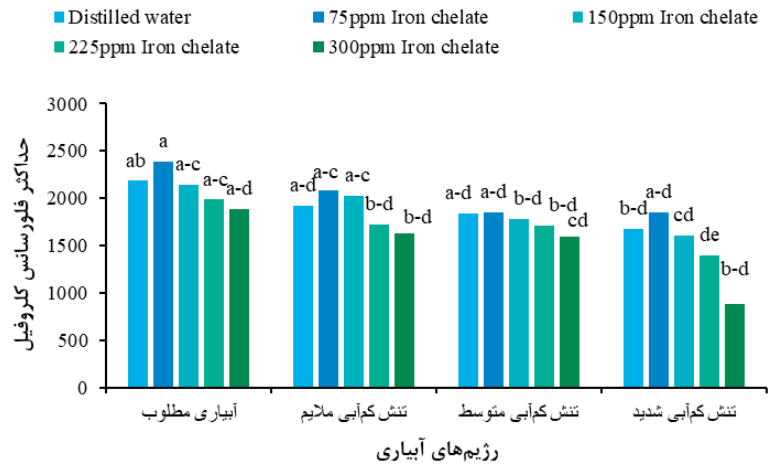
در تیمارهای محلول‌پاشی با ۳۰۰ پی‌پی‌ام در شرایط تنش کم‌آبی شدید (۸۸۸/۴) و تیمارهای محلول‌پاشی ۲۲۵ پی‌پی‌ام (۱۳۹۹/۷) در شرایط تنش کم‌آبی شدید کمتر از سایر تیمارهای مورد بررسی شد (شکل ۱۰).

۳-۱۲- فلورسانس متغیر کلروفیل

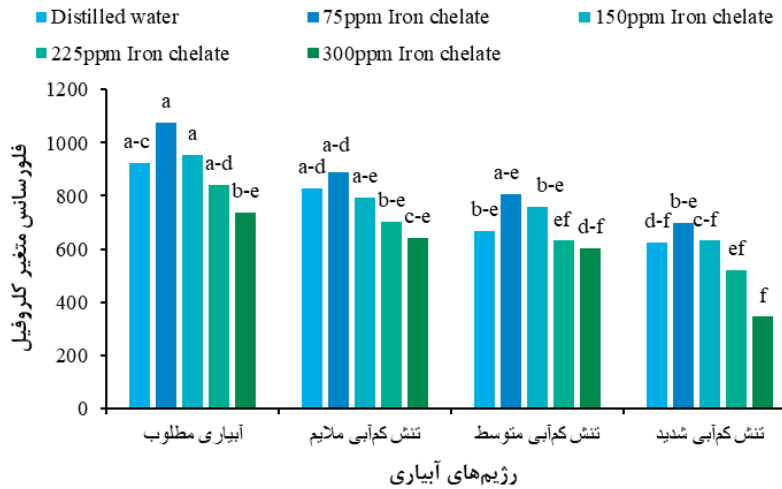
نتایج بدست آمده از جدول تجزیه واریانس (جدول ۶) نشان داد که اثر اصلی محلول‌پاشی گیاه با کود کلات آهن و برهمکنش رژیم‌آبیاری و محلول‌پاشی کلات‌آهن اثر معنی داری بر فلورسانس متغیر کلروفیل در سطح احتمال پنج درصد دارد. نتایج نشان داد که تیمار محلول‌پاشی با ۷۵ پی‌پی‌ام کلات آهن با میانگین (۱۰۷۴/۰) در شرایط آبیاری مطلوب بیشترین فلورسانس متغیر کلروفیل را داشت (شکل ۱۱) و از لحاظ آماری با سایر تیمارهای محلول‌پاشی ۱۵۰ پی‌پی‌ام (۹۵۴/۷)، ۲۲۵ پی‌پی‌ام (۸۳۹/۸) و بدون محلول‌پاشی کلات‌آهن (۹۲۴/۹) در شرایط آبیاری مطلوب و محلولپاشی با ۷۵ پی‌پی‌ام (۸۸۸)، ۱۵۰ پی‌پی‌ام (۷۹۳/۷) و بدون محلول‌پاشی (۸۲۹/۴) کلات آهن در شرایط تنش کم‌آبی ملایم و تیمار ۷۵ پی‌پی‌ام کلات آهن (۸۰۷/۲) در تنش کم‌آبی متوسط تفاوت معناداری نداشت (شکل ۱۱) در حالی که کمترین مقدار آن در تیمارهای محلول‌پاشی با ۳۰۰ پی‌پی‌ام در شرایط تنش کم‌آبی شدید (۳۴۴/۳) مشاهده شد (شکل ۱۱) و از لحاظ آماری با تیمارهای محلول‌پاشی ۲۲۵ پی‌پی‌ام (۵۱۹/۷)، ۱۵۰ پی‌پی‌ام (۶۳۰/۷)، ۷۵ پی‌پی‌ام (۶۹۷/۱) و بدون محلول پاشی (۶۲۴) کلات آهن در شرایط تنش کم‌آبی شدید و تیمارهای محلول‌پاشی ۳۰۰ پی‌پی‌ام (۶۰۱/۲)، ۲۲۵ پی‌پی‌ام (۶۳۰/۶) در شرایط تنش کم‌آبی متوسط تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۱۱).

۳-۱۳- حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II

نتایج بدست آمده از جدول تجزیه واریانس (جدول۶) نشان داد که اثر اصلی رژیم‌آبیاری در سطح یک درصد و برهمکنش رژیم‌آبیاری و محلول‌پاشی کلات‌آهن اثر معنی داری بر حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیتم در سطح احتمال پنج درصد دارد. نتایج نشان داد که تیمار محلول‌پاشی با ۱۵۰ پی‌پی‌ام کلات آهن با میانگین (۰/۴۵) در شرایط آبیاری مطلوب بیشترین کارایی کوانتومی فتوسیستم را داشت (شکل ۱۲) و از لحاظ آماری با سایر تیمارهای محلول‌پاشی ۷۵ پی‌پی‌ام (۰/۴۴)، ۲۲۵ پی‌پی‌ام (۰/۴۳)، ۳۰۰ پی‌پی‌ام (۰/۴۲) و بدون محلول‌پاشی کلات‌آهن (۰/۴۴) در شرایط آبیاری مطلوب و محلولپاشی با ۱۵۰ پی‌پی‌ام (۰/۴۲)، ۷۵ پی‌پی‌ام (۰/۴۳) و ۲۲۵ پی‌پی‌ام (۰/۴۱)



شکل ۱۰- مقایسه میانگین‌های اثر متقابل رژیم‌های آبیاری و محلول‌پاشی کلات آهن روی صفت حداکثر فلورسانس کلروفیل. حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده عدم تفاوت معنی دار ($LSD_{0.05}$) است.

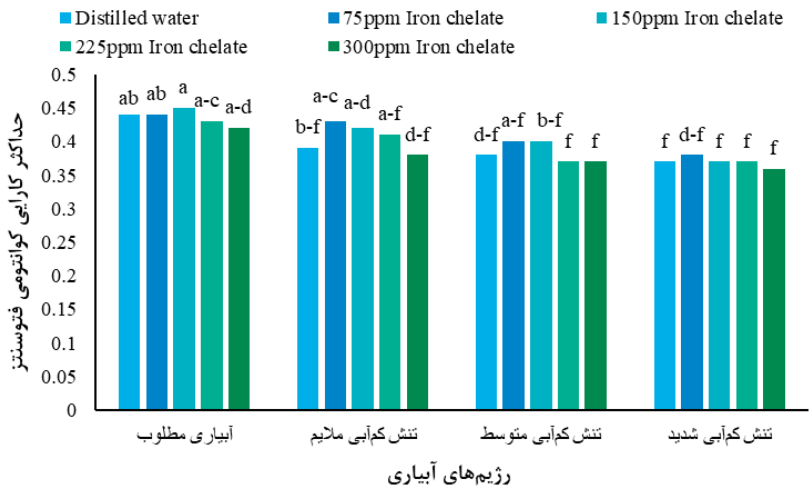


شکل ۱۱- مقایسه میانگین‌های اثر متقابل رژیم‌های آبیاری و محلول‌پاشی کلات آهن روی صفت فلورسانس متغیر کلروفیل. حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده عدم تفاوت معنی دار ($LSD_{0.05}$) است.

کلات آهن در شرایط تنش کم‌آبی ملایم و تیمار ۷۵ پی‌پی‌ام کلات آهن (۰/۴) در تنش کم‌آبی متوسط تفاوت معناداری نداشت (شکل ۱۲) در حالی که کمترین مقدار آن در تیمارهای محلول‌پاشی با ۳۰۰ پی‌پی‌ام در شرایط تنش کم‌آبی شدید (۰/۳۶) مشاهده شد (شکل ۵-۲۰) و از لحاظ آماری با تیمارهای محلول‌پاشی ۲۲۵ پی‌پی‌ام (۰/۳۷)، ۱۵۰ پی‌پی‌ام (۰/۳۷)، ۷۵ پی‌پی‌ام (۰/۳۸) و بدون محلول‌پاشی (۰/۳۷) کلات آهن در شرایط تنش کم‌آبی شدید و تیمارهای محلول‌پاشی ۳۰۰ پی‌پی‌ام (۰/۳۷)، ۲۲۵ پی‌پی‌ام (۰/۳۷)، ۱۵۰ پی‌پی‌ام (۰/۴)، ۷۵ پی‌پی‌ام (۰/۴) و بدون محلول‌پاشی (۰/۳۸) کلات آهن در شرایط تنش کم‌آبی متوسط و تیمار ۳۰۰ پی‌پی‌ام (۰/۳۸)، ۲۲۵ پی‌پی‌ام (۰/۴۱) و بدون محلول‌پاشی (۰/۳۹) کلات آهن در شرایط تنش کم‌آبی ملایم تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۱۲).

٤- بحث

کاهش ارتفاع، نشان‌دهنده کاهش تقسیم و رشد سلولی در مرحله رویشی و زایشی می‌باشد. پژوهشگران در بررسی اثر تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام مختلف ذرت در شرایط کشت تأخیری گزارش دادند که تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته داشته و تنش در مرحله رویشی موجب کاهش معنی-



شکل ۱۲- مقایسه میانگین‌های اثر متقابل رژیم‌های آبیاری و محلول‌پاشی کلات آهن روی صفت حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II. حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده عدم تفاوت معنی دار ($LSD_{0.05}$) است.

دار ارتفاع بوته شده است (محمدی بهمنی و آرمین، ۱۳۹۵). محققین علت کاهش ارتفاع بوته با افزایش سطوح تنش خشکی را به تجزیه آهستهتر مواد ذخیره شده در اندام‌های ذخیره‌ای و در نتیجه کاهش و یا عدم انتقال مواد غذایی از اندام‌های ذخیره‌های به ساقه دانسته‌اند (Taheri *et al*., 2008). در شرایط کمبود آب ترشح هورمون سیتوکینین از ریشه کاهش یافته و از طریق کاهش تقسیم سلول‌ها، ارتفاع گیاه کاهش می‌یابد (Lalinia *et al*., 2012). تعداد کمتر شاخه گلدار در گیاه در شرایط تنش رطوبتی را می‌توان به اختلال در فتوسنتز به واسطه کمبود آب و کاهش تولید مواد فتوسنتزی جهت ارائه به بخش‌های در حال رشد گیاه و درنهایت عدم دستیابی گیاه به پتانسیل ژنتیکی از نظر تعداد شاخه جانبی در بوته نسبت داد (سعیدی ابواسحقی و همکاران، ۱۳۹۳). نتایج نشان داد که در شرایط تنش کم‌آبی ممکن است مکانیسم تطبیقی گیاه گل‌گاوزبان باعث تولید شاخه‌های بیشتر برای افزایش موفقیت تولید مثل شود. از طرفی کمبود بیش از حد آب منجر به پیری و ریزش برگ‌ها شده و از این طریق باعث کاهش فتوسنتز و تجمع کمتر کربوهیدرات می‌گردد که نهایتاً کاهش رشد شاخه را به دنبال دارد (Jaleel *et al*., 2009). در تحقیقات قبلی اثر مثبت محلول پاشی کودهای آهن در افزایش تعداد شاخه‌های جانبی گیاهان آنیسون (Pirzad *et al*., 2013) و ریحان (Nazari *et al*., 2012) گزارش شده است، که دلیل آن تأثیر عنصر آهن بر مقدار کلروفیل برگ و غلظت اسیدایندول استیک است. استفاده از نانو کلات آهن با افزایش در میزان کود مصرفی باعث افزایش تعداد گل در زعفران شد (خاکسارنژاد و ضابط، ۱۳۹۶). فراهمی عناصر به شکل موثری باعث افزایش تعداد گل می‌شود (کوچکی و بنایان، ۱۳۷۳). محققین با بررسی اثرات تنش خشکی بر شاخص‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی گیاه کاسنی (*Cichorium intybus* L.) جهت معرفی در فضای سبز شهری دریافتند که تعداد برگ با افزایش سطوح تنش خشکی کاهش یافت (مرتضی نژاد و جزی زاده، ۱۳۹۶). بنابراین کاهش پتانسیل آب در مدت دوره کم آبی، سبب کاهش آب بافت‌های گیاه شده که نتیجه آن کاهش تعداد برگ، سطح برگ و کوچک شدن برگ‌ها است (Shao *et al*., 2008). از آنجا که آهن در سیستم‌های فتوسنتزی برای تنفس و ساخت کلروفیل نقش دارد محلول‌پاشی آهن باعث افزایش تعداد برگ گردید (Santos *et al*., 2015). در تنش مرحله‌ی رویشی چون گیاه در مرحله رشد سریع قرار داشت و پتانسیل تولید برگ جدید را دارا بود لذا محلول‌پاشی عناصر آهن و منگنز در این مرحله

باعث افزایش تعداد برگ می‌شود (زیدی طولابی و همکاران.، ۱۳۹۵). از طرفی به علت اینکه گل‌گاوزبان یک گیاه رشد نامحدود است محلول‌پاشی عناصر غذایی در مرحله زایشی هم باعث تولید برگ‌های جدید در این گیاه می‌شود. طی آزمایشی نیز گزارش شد که محلول‌پاشی عناصر کودی نانو نسبت به شاهد برتری داشته که این برتری به خاطر تأمین مقدار کافی آهن قابل دسترس گیاه در شرایط کمبود این عنصر در خاک و نقش این عنصر در سنتز کلروفیل جهت افزایش فتوسنتز و درنهایت افزایش ماده خشک در زمان رشد رویشی گیاه می‌باشد (ناظران و همکاران، ۱۳۸۸). با اعمال تیمارهای کود آهن، شرایط تغذیه‌ای گیاه بهبود می‌یابد. افزایش وزن اندام هوایی گیاه می‌تواند به دلیل افزایش فعالیت فتوسنتزی باشد که خود سبب افزایش شاخه‌های فرعی، تعدا برگ، وزن تر و خشک برگ و ساقه شود (پیوندی و همکاران، ۱۳۹۰). فلورسانس کلروفیل نشاندهنده عملکردPSII و انتقال الکترون از PSII به PSI است و بهطور مرتب برای تخمین آسیب به سیستم فتوسنتز به‌کار میرود (Niu and Rodriguez, 2008). افزایش نسبت/Fv Fm نشاندهنده بازسازی قطعات آسیب دیده ناشی از استرس است که نشاندهنده مقاومت در برابر تنش خشکی است (Misra *et al*., 2012). هنگامی که الکترون در گیرنده Q در حالت کاهش است، مقدار Fvدر بالاترین سطح است. همچنین، هنگامی که فلورسانس کلروفیل درPSII کاهش میابد، Fv نیز کاهش میابد (Baghbani-Arani *et al*., 2017). کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II، به‌صورت Fv/Fm بیان می‌شود و تنش‌های محیطی با تأثیر بر فتوسیستم II، باعث کاهش این نسبت می‌شوند. تنش خشکی کارایی فتوسیستم II را تحت تأثیر قرار داده و موجب کاهش سرعت انتقال الکترون و عملکرد کوآنتومی مؤثر فتوشیمیایی فتوسیستم II می‌گردد. درواقع با محدود شدن جذب CO2 بر اثر بسته شدن روزنه‌ها در اثر تنش خشکی، تعادل بین فعالیت فتوشیمیایی فتوسیستم II و نیاز الکترونی فتوسنتز بهم خورده و موجب آسیب نوری در مراکز واکنش فتوسیستم II می‌گردد (Long et al., 1994).

۵- نتیجه‌گیری کلی

تنش کم‌آبی باعث کاهش اکثر صفات مورفولوژیک از جمله وزن تر گل، وزن تر گیاه، تعداد برگ، ارتفاع ساقه، وزن خشک کل، وزن خشک گل شد و از طرفی محلول‌پاشی در شرایط تنش باعث افزایش وزن اندام هوایی گردید. غلظت‌های مختلف آهن استفاده از ۷۵ پی‌پی‌ام و ۱۵۰ پی‌پی‌ام کلات‌آهن در شرایط تنش کم‌آبی بیشترین اثر مثبت را در خصوصیات کمی و کیفی گل‌گاوزبان اروپایی نشان داد اما با افزایش غلظت نانو کلات آهن (۳۰۰ پی‌پی‌ام)، عملکرد گل‌گاوزبان‌اروپایی کاهش یافت. تیمار محلولپاشی با ۱۵۰پی‌پی‌ام کلات آهن در شرایط آبیاری مطلوب باعث افزایش ۱۲/۵۳درصدی ارتفاع نسبت به تیمار شاهد شد. بیشترین وزن تر اندام هوایی در تیمار آبیاری مطلوب و محلول‌پاشی کلات آهن با غلظت ۷۵ پی‌پی‌ام مشاهده شد که افزایش ۱۳/۴۲ درصدی را نسبت به تیمار شاهد نشان داد از طرفی حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II در تیمار آبیاری مطلوب و محلول‌پاشی کلات آهن با غلظت ۱۵۰ پی‌پی‌ام حاصل شد که نسبت به تیمار شاهد ۲/۲۵ درصد افزایش را نشان می‌دهد. به طور کلی با توجه به نتایج به دست آمده در زمان کم‌آبی محلول‌پاشی ۷۵ پی‌پی‌ام کلات آهن توصیه می‌شود.

تضاد و تعارض منافع- نویسندگان هر گونه تعارض و تضاد منافع اعم از تجاری و غیر تجاری و شخصی را که در ارتباط مستقیم یا غیرمستقیم با اثر منتشرشده است رد می‌نمایند.

منابع

امید بیگی، ر. (۱۳۸۹). تولید و فرآوری گیاهان دارویی. انتشارات آستان قدس رضوی. جلد ۴. ویرایش اول. صفحات ۳۶۳-۳۶۴

ایوبی زاده, نیکی, لایی, قنبر, امینی دهقی, مجید, سینکی, جعفر مسعود و ,رضوان بیدختی, شهرام. (۱۳۹۹). اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی نانو کلات آهن و اسید فولویک بر عملکرد دانه و ترکیب اسیدهای چرب روغن دانه دو رقم کنجد .به زراعی کشاورزی22(2), 231-243. doi: 10.22059/jci.2020.281730.2220 ,

پیوندی، م., پرنده، ح. و میرزا، م. (۱۳۹۰). مقایسه اثر نانو کلات آهن با کلات آهن بر پارامترهای رشد و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی ریحان (*Ocimum Basilicum*). مجله بیوتکنولوژی و نانو پزشکی ایران، ۱(۴)، ۸۹-۹۸.

توحیدی، س., سبحانیان، ح., باغی‌زاده، ع. و امین، م. (۱۴۰۰). ارزیابی و مقایسه ده اکوتیپ گیاه دارویی *Teucrium polium* L. در پاسخ به تنش خشکی. فیزیولوژی محیطی گیاه، ۱۶(۶۲)، ۱۲۳-۱۳۸.

حیدرزاده، ع.، مدرس ثانوی، س.ع.م، و مختصی بیدگلی، ع. (۱۴۰۰). بررسی رژیم‌های تغذیه‌ای مختلف روی برخی صفات کمی و کیفی علوفه‌ای زرین گیاه (*Dracocephalum kotschyi* Boiss) تحت تنش کم‌آبی. علوم گیاهان زراعی ایران، ۵۲(۲)، ۲۷-۱۵.

خاکسارنژاد, عصمت, و ضابط, محمد. (۱۳۹۶). اثر نانو کلات آهن بر عملکرد و اجزای عملکرد زعفران (Crocus sativus L.). پژوهش‌های زعفران, ۵(۱), ۴۵-۵۲. doi: 10.22077/jsr.2017.600

خرم‌دل، س. (۱۳۹۶). ضرورت توسعه کشت گیاهان دارویی و راهبردهای مقابله با کم‌آبی. دومین همایش ملی گیاهان دارویی مناطق خشک در ایران. ارومیه، ایران.

رمضانی, محمدرضا, ثقه‌الاسلامی, محمدجواد, سیاری زهان, محمد حسن, و موسوی, سید غلامرضا. (۱۳۹۶). اثر شوری و محلول‌پاشی روی و آهن بر عملکرد و برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی و کیفی زنیان (*Carum copticum*). سعیدی ابواسحقی، ر.ا., یدوی، ع., موحدی دهنوی، م. و بلوچی، ح.ر. (۱۳۹۳). اثر دور آبیاری و محلول‌پاشی آهن و روی بر برخی صفات فیزیولوژیک و مورفولوژیک لوبیا قرمز (*Phaseolous vulgaris* L). فرآیند و کارکرد گیاهی، ۳(۷)، ۲۷-۴۲.

نش‌های محیطی در علوم زراعی, ۱۰(۴), 595-604. doi: 10.22077/escs.2017.634

زیدی طولابی, نوراللهٔ, دیرکوندی, سمیه, موسوی راد, هما & ,رحیمی چگنی, روح الدین. (۱۳۹۵). بررسی اثر سطوح مختلف سولفات روی بر خصوصیات کمی و کیفی گونه‌های ماشک علوفه‌ای در کشت دیم .پژوهش‌های کاربردی زراعی، ۲۹(۱)، ۲۹-۳۸.

سپهری, علی, چیت ساز, الهه, قره باغلی, نساء, و ثمن, مریم. (۱۳۹۶). اثر سولفات روی و آهن بر عملکرد و محتوای کامفرول گیاه دارویی کاسنی (*Cichorium intybus* L.) تحت تنش خشکی. دوفصلنامه فنآوری تولیدات گیاهی, ۹(۱), ۹۹-۱۱۱. doi: 10.22084/ppt.2017.2316.

فتحی رضایی, پریسا, محمدنژاد, ماریا و آقائی, احمداحمد. (۱۳۹۸). ارزیابی اثر سولفات آهن بر رشد و برخی شاخص‌های بیوشیمیایی ریزنمونه‌های گیاه سیر در شرایط کشت درون شیشه‌ای .مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست شناسی ایران) (علمی) ۳۲ ,(۸۹۸ ,(۴-.۹۰۹

کوچکی، ع. و بنایان، م. (۱۳۷۳). فیزیولوژی گیاهان زراعی. مشهد: انتشارات جهاد دانشگاهی. ۳۸۰ صفحه.

لباسچی, محمدحسین. (۱۳۹۷). بحران آب و لزوم توسعه کشت گیاهان دارویی .طبیعت ایران۳ ,(3), 6-9. doi: 10.22092/

irn.2018.116776

مرتضایی نژاد، ف. و جزی زاده، ا. (۱۳۹۶). اثرات تنش خشکی بر شاخص‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه کاسنی (*Cichorium intybus*) جهت معرفی در فضای سبز شهری. فرآیند و کارکرد گیاهی، ۶(۲۱)، ۲۷۹-۲۹۰.

موحمدی بهمدی، م &.آرمین، م. (۱۳۹۵). تأثیر تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد کولتیوارهای مختلف ذرت در شرایط کاشت تاخیری .پژوهش‌های کاربردی فیزیولوژی گیاهی، ۳(۴-۱)، ۳۴-۱۷.

مهدی‌نژاد، م., جمال‌پور، ح., فخری، ب., براتی، ا., آزاد غجه بیگلو، ح., و حمیده. (۱۳۹۸). بررسی واکنش برخی صفات فیزیولوژیک و عملکرد بذر ژنوتیپ‌های خرفه (*Portulaca oleracea* L) به تنش خشکی و محلول‌پاشی نانوذرات آهن. فیزیولوژی محیطی گیاه، ۱۴(۵۴)، ۷۴-۸۹.۰

ناظران، م.ح., خلاج، ح., لبافی حسین‌آبادی، م.ر., شمس‌آبادی، م. و رزازی، ا. (۱۳۸۸). بررسی تأثیر زمان محلول‌پاشی نانو کلات آهن بر صفات کمی و کیفی گندم دیم. در: مجموعه مقالات دومین همایش ملی کاربرد نانوتکنولوژی در کشاورزی، سالن همایش مؤسسه تحقیقات و اصلاح بذر و نهال، کرج، ایران، ۲۶-۲۷ آبان، ۱۳۸۸.

نصیری دهسرخی, عباس, قنبری, احمد, و ورناصری قند علی, ویدا. (۱۳۹۷). مطالعه تغذیه برگی کلات آهن به فرم‌های نانو و معمول بر عملکرد و اجزای عملکرد زیره سبز (*Cuminum cyminum* L) در شرایط تنش خشکی. پژوهش‌های زراعی ایران, 16(1), 229-241. doi: 10.22067/gsc.v16i1.63206

نقدی‌بادی، ح., سروش‌زاده، ع., رضازاده، ش., شریفی، م., قلاوند، ا., و امیدی، ح. (۱۳۸۶). مروری بر گیاه گاوزبان (گیاه دارویی با ارزش و غنی از گامالینولنیک اسید). فصلنامه گیاهان دارویی، ۶(۲۴)، ۱-۱۶.

Adib, S.S., Dehaghi, M.A., Rezazadeh, A. & Naji, A.M. (2020). Evaluation of sulfur and foliar application of Zn and Fe on yield and biochemical factors of cumin (*Cuminum cyminum* L.) under irrigation regimes. *Journal of Herbmed Pharmacology*, 9(2): 161-170.

Asadi-Samani, M., Bahmani, M., & Rafieian-Kopaei, M. (2014). The chemical composition, botanical characteristic and biological activities of Borago officinalis: a review. *Asian Pacific journal of tropical medicine*, 7, S22-S28.

Baghbani-Arani, A., Modarres-Sanavy, S. A. M., Mashhadi-Akbar-Boojar, M., & Mokhtassi-Bidgoli, A. (2017). To improve agronomic performance, chlorophyll fluorescence parameters and pigments in fenugreek using zeolite and vermicompost under deficit water stress. *Industrial Crops and Products*, 109, 346-357.

Baghizadeh, A., and Haj Mohammad Rezaei, M., & Tohidi, Z. (2019). Investigation of the interaction of drought stress with ascorbate and salicylic acid on the activity of some antioxidant enzymes and flavonoids in okra *Hibiscus esculentus* L. *Cellular and Molecular Research* (Iranian Biology) , 33 (1): 152-142.

Banaei M H, Moameni A, Baybordi M & Malakouti MJ, (2005) The soils of Iran , new achievements in perception. Managements and use. Sana publication, Tehran. Iran.

Chakraborty, B., Singh, P. N., Shukla, A. & Mishra, D. S. (2012). Physiological and biochemical adjustment of iron chlorosis affected low-chill peach cultivars supplied with different iron sources.

Physiology and Molecular Biology of Plants 18(2): 141-148.

DANAEE, ELHAM, & ABDOSSI, VAHID. (2021). Effect of foliar application of iron, potassium and zinc nano-chelates on nutritional value and essential oil of Basil (*Ocimum basilicum* L.). FOOD AND HEALTH JOURNAL, 4(4), 13-20.

Dastborhan, S., & Ghassemi-Golezani, K. (2015). Influence of seed priming and water stress on selected physiological traits of borage. *Folia Horticulturae*, 27(2), 151-159.

Fernández V, Eichert T, Del Río V, López-Casado G, Heredia-Guerrero JA, Abadía A, ... Abadía J (2008). Leaf structural changes associated with iron deficiency chlorosis in field-grown pear and peach: physiological implications. *Plant and Soil* 311(1):161-172. https://doi.org/10.1007/s11104-008-9667-4

Jaleel, C.A., P. Manivannan, A. Wahid, M. Farooq, H.J. Al-Jubuti, R. Somaasundrram, & R. Panneerselvam. (2009). Drought stress in plants: A review on morphological characteristics and pigments composition. *Journal of Agriculture Biology*. 11: 100–.501

Karimi, E., Oskoueian, E., Karimi, A., Noura, R. & Ebrahimi, M. (2018). *Borago Officinalis* L. flower: a comprehensive study on bioactive compounds and its health-promoting properties. J. *Food Meas*. Charact. 12: 826-838

Kleinwächter, M., & Selmar, D. (2015). New insights explain that drought stress enhances the quality of spice and medicinal plants: potential applications. *Agronomy for Sustainable Development*, 35, 121-131.

Lalinia, A. A., Hoseini, N. M., Galostian, M., Bahabadi, S. E., & Khameneh, M. M. (2012). Echophysiological impact of water stress on growth and development of mungbean. *International Journal of Agronomy and Plant Production*, , Vol. 3, No. 12, 599-607 ref. 27

Long S.P., Humphries S. & Falkowski P.G. (1994). Photoinhibition of photosynthesis in nature. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 45: 633-662.

Martin, G. A., Viskoohil, D., Bollag, G., McCabe, P. C., Crosier, W. J., Haubruck, H., ... & McCormick, F. (1990). The GAP-related domain of the neurofibromatosis type 1 gene product interacts with ras p21. *Cell*, 63(4), 843-849.

Misra, A. N., Misra, M., & Singh, R. (2012). Chlorophyll fluorescence in plant biology. *Biophysics*, 7, 171-192.

Movahhedi Dehnavi, M., & M. Jalil Sheshbahre. (2017). Soybean leaf physiologicalresponses to drought stress improved via enhanced seed zinc and iron concentrations. *Journal of Plant Process and Function*. 5(18): 13-21.

Nazari M, Mehrafarin A, Naghdi Badi H & Khalighi-sigaroodi F (2012) Morphological traits of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) as influenced by foliar application of methanol and nano-iron chelate fertilizers. Scholars Research Library. *Annals of Biological Research*. 3(12): 5511-

5514.

Niu, G., Rodriguez, D. S., & Mackay, W. (2008). Growth and physiological responses to drought stress in four oleander clones. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 133(2), 188-196.

Pirzad, A. L., Tousi, P., & Darvishzadeh, R. (2013). The effect of foliar application of iron and zinc on plant traits and anise essential oil content. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 15(1), 23-12.

Prasch, C. M., & Sonnewald, U. (2015). Signaling events in plants: Stress factors in combination change the picture. *Environmental and Experimental Botany*, 114, 4–14.

Santos C.S., Roriz M., Carvalho S.M., & Vasconcelos M.W. (2015). Iron partitioning at an early growth stage impacts iron deficiency response in soybean plants (*Glycine max* L.). *Frontiers in Plant Science* 6:1-12.

Shao, H. B., Chu, L. Y., Shao, M. A., Jaleel, C. A., & Hong-mei, M. (2008). Higher plant antioxidants and redox signaling under environmental stresses. Comptes rendus. Biologies, 331(6), 433-441.

Sheikhpour, S., Sirousmehr, A.R. & Fakheri, B.R., (2014). Evaluation of chlorophyll content, nutrients and yield of borage (*Borago officinalis* L.) in responses to chemical and biological fertilizers. *Advanced in Crop Science*. 2, 131-140.

Slama, M., Slougui, N., Benaissa, A., Nekkaa, A., Sellam, F., & Canabady-Rochelle, L. (2024). *Borago Officinalis* L.: A Review Oon Extraction, Phytochemical, and Pharmacological Activities. *Chemistry & Biodiversity*, 21(5), e202301822.

Taheri, A.N., Daneshian, J., Valadabadi, S.A.R. & Aliabadi, F.H. (2008) Effects of water deficit and plant density on morphological characteristics of chicory (*Cichoriun intybus* L.). Abstract Book of 5th *International Crop Science Congress Exhibition*-P. 26.

Ye L, Li L, Wang L, Wang S, Li S, Du J, ... Shou H (2015). MPK3/MPK6 are involved in iron deficiency-induced ethylene production in Arabidopsis. *Frontiers in Plant Science* 6: 953. https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00953