مقاله پژوهشی

بررسی اثر غلظت‌های مختلف آهن و بور بر رشد و برخی خصوصیات فیزیولوژیک گیاه بومادران (*Achillea millefolium* L.)

مریم یعقوب‌زاده[۱]، احمد مهتدی[۱*]، اطهر السادات جوانمرد[۱] و علی‌اکبر قطبی راوندی[۲]

[۱] گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه یاسوج

[۲] گروه علوم و زیست‌فناوری گیاهی، دانشکده علوم و فناوری زیستی، دانشگاه شهید بهشتی

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۱۲، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۰/۰۶/۰۲)

چکیده

گیاهان برای رشدونمو خود به عناصر غذایی ضروری نیاز دارند. آهن و بور از جمله عناصر ریزمغذی هستند که به مقدار خیلی کم مورد نیاز گیاهان هستند. این تحقیق به‌صورت گلدانی به‌منظور بررسی اثر آهن و بور بر گیاه بومادران، به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. آهن در سه سطح (صفر، ۵ و ۲۰ میکرومولار) و بور در سه سطح (۲۵، ۵۰ و ۷۵ میکرومولار) انتخاب شدند. نتایج نشان داد که اثر آهن، بور و برهم‌کنش آنها بر بیشتر شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیکی گیاه بومادران معنی‌دار بود. آهن (۲۰ میکرومولار) و بور (۷۵ میکرومولار) و برهم‌کنش آنها موجب افزایش معنی‌دار شاخص‌های کلروفیل ***a***، ***b***، کلروفیل کل، نسبت کلروفیل ***a/b*** و کاروتنوئید نسبت به نمونه‌های شاهد (آهن ۲۰ میکرومولار و بور ۲۵ میکرومولار) گردید. غلظت‌های مختلف بور بر محتوای آب نسبی تأثیری نداشت. هم‌چنین غلظت‌های مختلف بور و آهن منجر به تغییر معنی‌داری در شاخص وزن خشک ریشه نگردید. آهن به صورت معنی‌داری بر میزان آهن ریشه و اندام هوایی و هم‌چنین پروتئین محلول برگ تأثیر داشت درحالی‌که غلظت‌های مختلف بور منجر به تفاوت معنی‌دار در میزان آهن ریشه و پروتئین محلول برگ گردید. حداکثر میزان آهن ریشه و اندام هوایی به‌ترتیب ۹۵۱ و ۶۲۰ میکروگرم برگرم وزن خشک به‌دست آمد. به‌صورت کلی، به‌نظر می‌رسد که تیمار گیاه بومادران با غلظت‌های ۲۰ میکرومولار آهن و ۷۵ میکرومولار بور منجر به افزایش معنی‌دار شاخص‌های رشد و فیزیولوژیک این گیاه می‌گردد.

کلمات کلیدی: عناصر ریزمغذی، کلروفیل، گیاهان دارویی، وزن خشک

مقدمه

گیاهان برای رشد و تکامل خود به عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف نیاز دارند (Alloway, 2008). رویکرد روز افزون به استفاده از گیاهان دارویی در سطح جهان، اهمیت کشت و تولید این گیاهان را آشکار کرده است. طبق برآورد سازمان بهداشت جهانی (WHO)، ۸۰ درصد مردم برای مراقبت‌های بهداشتی اولیه به‌طور سنتی به گیاهان دارویی و تولیدات طبیعی وابسته هستند. مواد مؤثره این گیاهان با هدایت فرآیندهای ژنتیکی ساخته می‌شود؛ ولی ساخت آنها تحت تأثیر عوامل محیطی نیز قرار می‌گیرد. این عوامل محیطی باعث تغییر در رشد گیاهان دارویی و همچنین کیفیت مواد مؤثره و مقدار آنها می‌شود (سپهری و همکاران، ۱۳۹۶). گیاهان دارویی ذخیره

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: a.mohtadi@yu.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-30]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.45.19.7]

ژنتیکی هر کشوری هستند و به همراه داروها و مواد مشتق از آنها بخش مهمی از اقتصاد کشور را به خود اختصاص داده‌اند (امیری‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۴).

از بین عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان، هفت عنصر شامل آهن، بور، منگنز، مس، کلر، روی و مولیبدن به مقدار کم مورد نیاز گیاهان هستند و به همین دلیل آنها را ریزمغذی می‌گویند (توحیدی، ۱۳۹۴). عناصر ریزمغذی تأثیر مثبتی در افزایش کارکرد کیفی و کمی گیاهان دارند (Ramroudi *et al.*, 2011). کمبود عناصر ریزمغذی در گیاهان و محصولات کشاورزی، گسترش جهانی دارد به‌طوری‌که ۳۰ درصد خاک‌های جهان به کمبود آهن و روی مبتلا هستند (خیاوی و همکاران، ۱۳۸۹).

گیاهان در بین ریزمغذی‌های مختلف، بیشترین نیاز را به آهن دارند؛ به‌دلیل اینکه این عنصر بخشی از گروه کاتالیزوری بسیاری از آنزیم‌های مربوط به واکنش‌های اکسیداسیون و احیاء است و برای ساخت کلروفیل مورد نیاز است (شرف الدین شیرازی و فاضلی، ۱۳۹۴). آهن در اعمال متابولیکی نظیر تثبیت نیتروژن، تولید رنگدانه، توسعه کلروپلاست و به‌عنوان کاتالیزور در فعالیت‌های آنزیمی از جمله آنزیم‌های چرخه گلیکولات و مسیر تنفس نوری دخالت دارد (رضائی‌چیانه و همکاران، ۱۳۹۴). آهن عنصری غیرمتحرک است و کمبود آن در برگ‌های جوان دیده می‌شود (محمدی و همکاران، ۱۳۹۸). کمبود آهن در خاک باعث رنگ‌پریدگی در گیاه می‌شود که در بیشتر خاک‌های ایران آشکار است (پیرزاد و همکاران، ۱۳۹۲). مصرف آهن میزان فعالیت آنزیم نیترات‌رودکتاز را که برای چرخه اسیدهای آمینه لازم است، افزایش داده و یکی از عناصر مهمی است که در سوخت و ساز نیتروژن نقش دارد و درنتیجه باعث افزایش مقدار پروتئین در گیاه می‌شود (Briat *et al.*, 2010). آهن باعث افزایش تنظیم‌کننده‌های رشد و افزایش سنتز کلروفیل در برگ‌های جوان می‌شود و درنتیجه فتوسنتز افزایش می‌یابد و مواد فتوسنتزی بیشتری به نقاط مختلف گیاه از جمله ساقه وارد می‌شود و درنهایت ارتفاع افزایش می‌یابد (Heidarzade *et al.*, 2016). کمبود آهن باعث تجزیه ساختمان کلروپلاست می‌شود. وجود آهن باعث افزایش سنتز کاروتنوئیدها در گیاهان می‌شود و به حفظ ساختار کلروپلاست‌ها کمک می‌کند (جعفری و روستا، ۱۳۹۶).

بور یک عنصر کم‌مصرف است که برای فرآیندهای فیزیولوژیکی و متابولیکی در سلول از جمله چوبی‌شدن، سنتز دیواره سلولی، سوخت و ساز کربوهیدرات‌ها و حفظ تمامیت غشاء مورد نیاز است (Brown *et al.*, 2002, Catav *et al.*, 2018.) بور اغلب به صورت اسید بوریک یکی از عناصر ضروری مورد نیاز برای رشد و توسعه متعادل در گیاهان است و بر روی بسیاری از کارکردهای گیاه از جمله فرآیند گلدهی و میوه‌دهی و جوانه‌زنی دانه گرده اثر دارد (عقیقی شاهوردی و همکاران، ۱۳۹۶). بور رشد دانه گرده و به‌ویژه لوله گرده را تحریک می‌کند (Marschner, 2012). در بسیاری از گیاهان، نقش عنصر بور طی دورهٔ زایشی مهم‌تر از دورهٔ رویشی است (Iqbal *et al.*, 2017). کمبود بور یک مشکل فراگیر در جهان است. کمبود بور به‌طور معمول در خاک‌های آهکی رخ می‌دهد و باعث توسعه نامتعارف اندام‌های تولید مثلی می‌شود و درنتیجه عملکرد گیاه را کاهش می‌دهد (توجه و همکاران، ۱۳۹۴). هر چند که بور یک عنصر ریزمغذی است ولی مقادیر بیش از حد آن در محیط رشد گیاه باعث مسمومیت می‌شود (Eraslan *et al.*, 2007). سمیت بور منجر به کاهش میزان فتوسنتز، کاهش تقسیم سلول‌های ریشه، کاهش رشد رویشی، کلروز، ایجاد لکه‌های نکروز برجسته قهوه‌ای بر روی برگ و در نهایت کاهش رشد و عملکرد محصول می‌شود (Turan *et al.*, 2009). سطح کفایت و سمیت بور در بافت برگ بالغ گیاهان به‌ترتیب ۲۰۰–۱۰ و ۲۰۰–۵۰ قسمت در میلیون و برای آهن به‌ترتیب ۵۰۰–۱۰۰ و بیش از ۵۰۰ قسمت در میلیون (میلی‌گرم در کیلوگرم) است (کافی و همکاران، ۱۳۹۳).

بومادران با نام علمی *Achillea* از تیره کاسنی (Asteraceae) است. این جنس در ایران ۱۹گونه گیاهی معطر و چند ساله دارد که هفت گونه آن انحصاری ایران است (جوادی و صالحی‌شانجاتی، ۱۳۹۰). بومادران (*Achillea millefolium* L.) گیاهی است خودرو، علفی و ریزوم‌دار که ساقه‌های مستقیم به ارتفاع یک متر دارد. مهم‌ترین ترکیبات

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-30]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.45.19.7]

مورد استفاده در سر شاخه‌های گلدار آن ترکیبات پلی‌فنولی، روغن فرار، لاکتون و برخی از انواع فلاون‌ها، رزین، تانن، بتایین‌ها، آشیلین، نمک‌های پتاسیم، اسیدهای آلی، فسفات، نیترات و ترکیبات استیلین است (زاهدی خراسانی و همکاران، ۱۳۸۵). نتایج تحقیقات Alcaraz و Ferrandiz (۱۹۸۷) نشان داد که خاصیت ضدآنتی‌اکسیدانی و ضدالتهابی بومادران در قسمت‌های هوایی آن وجود دارد. میزان این ترکیبات ارزشمند در گیاه بومادران معمولاً اندک است و براساس برخی فاکتورهای محیطی مانند وضعیت تغذیه‌ای گیاه تغییر می‌نماید (Alvarenga *et al.*, 2018). بهره‌مندی مؤثر از این گیاه در صنایع نیازمند افزایش میزان رشد و بیوماس تولیدی است. لذا القاء افزایش میزان رشد و بهینه‌سازی شرایط فیزیولوژیک یکی از اهداف مهم در راستای افزایش کارایی استفاده از این گیاه در صنایع مختلف تلقی می‌گردد. با توجه به کمبود اطلاعات مربوط به تأثیر عناصر کم‌مصرف آهن و بور بر فرآیندهای رشد و فیزیولوژیک گیاه بومادان، انجام چنین پژوهش‌های ضروری به‌نظر می‌رسد. بنابراین پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر کمبود آهن و بیش‌بود بور بر شاخص‌های رشد و فیزیولوژیکی گیاه بومادران (*Achillea millefolium* L.) انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت گلدانی در بهار ۱۳۹۸ در آزمایشگاه فیزیولوژی گیاهی دانشکده علوم پایه دانشگاه یاسوج انجام گرفت. بذر گیاه بومادران (*Achillea millefolium*) از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه و پس از ضدعفونی با محلول هیپوکلریت سدیم ۵٪ و شستشو با آب‌مقطر کشت گردید. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. واحدهای آزمایشی شامل گلدان‌هایی با قطر ۱۴ و ارتفاع ۱۳ سانتی‌متر بودند. گلدان‌ها توسط پرلیت که از قبل با دستگاه اتوکلاو ضدعفونی و سپس با آب‌مقطر شسته شده بودند، پر شدند. از مرحله کاشت تا جوانه‌زنی، آبیاری با آب‌مقطر انجام شد. سپس محلول غذایی یک دوم هوگلند برای آبیاری گلدان‌ها استفاده شد. ترکیبات مورد استفاده در محلول غذایی تغییریافته هوگلند به‌صورت زیر بود: 3 mM KNO_3, 2 mM $Ca(NO_3)_2$, 1 mM $NH_4H_2PO_4$, 0.5 mM $MgSO_4$, 20 µM Fe(Na) EDTA, 1 µM KCl, 2 µM $MnSO_4$, 25 µM H_3BO_3, 2 µM $ZnSO_4$, 0.1 µM $(NH_4)_6Mo_7O_{24}$ دو هفته بعد از استقرار، گیاهان در گلدان تنک شدند و ۸ گیاه در هرگلدان باقی ماند. در مرحله چهار برگی گیاهان، تیمار آهن در سه سطح (صفر، ۵ و۲۰ میکرومولار) و تیمار بور در سه سطح (۲۵، ۵۰ و۷۵ میکرومولار) با افزودن نمک‌های Fe(Na)EDTA و H_3BO_3 به محلول غذایی هوگلند به‌مدت دو هفته اعمال شد. pH محلول غذایی با محلول دو میلی‌مولار بافر MES و با استفاده از KOH در محدوده pH حدود ۶ ثابت نگه داشته شد. تیمارها هر پنج روز یک بار در محلول غذایی اعمال شد. آهن ۲۰ میکرومولار و بور ۲۵ میکرومولار به‌عنوان شاهد آزمایش بود. هرتیمار شامل سه تکرار و هر تکرار شامل هشت گیاه بود. گلدان‌ها در اتاق کشت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد در روز و ۱۶ درجه سانتی‌گراد در شب و تناوب نوری ۱۲ ساعت نور و ۱۲ ساعت تاریکی نگه‌داری شدند.

پس از پایان مدت تیمار، گیاهان برداشت‌شده و ریشه‌ها و بخش‌های هوایی گیاهان مربوط به هر گلدان جداگانه در داخل پاکت‌های کاغذی مخصوص قرار گرفت و درون آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت کاملاً خشک شد. سپس وزن خشک آنها اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی از جمله کلروفیل *a*، کلروفیل *b* و کلروفیل کل با استفاده از روش Arnon (۱۹۴۹) و کاروتنوئید با استفاده از روش Lichtenthaler (۱۹۸۷) صورت گرفت. مقدار ۰/۰۱ گرم از برگ تازه گیاهان در هاون چینی به خوبی ساییده شد و سپس مقدار ۱/۵ میلی‌لیتر استون ۸۰٪ به آن اضافه شد و با سرعت ۱۳۰۰۰ دور در دقیقه به‌مدت پنج دقیقه سانتریفیوژ گردید. پس از صاف کردن، میزان کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها در محلول رویی با استفاده از جذب محلول در طول‌موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Philler Scientific SU-6100 اندازه‌گیری و محاسبه شده و برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر گیاه گزارش گردید.

میزان محتوای آب نسبی (RWC) براساس رابطه زیر اندازه‌گیری شد (Martinez *et al.*, 2004).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-30]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.45.19.7]

RWC= [(وزن خشک-وزن آماس)-(وزن خشک-وزن تر)] ×۱۰۰

برای اندازه‌گیری آنتوسیانین‌ها، برگ‌های تهیه‌شده از گیاه به وزن ۰/۰۵ گرم در هاون چینی و با مقدار ۱۰ میلی‌لیتر متانول اسیدی به نسبت حجمی ۱:۹۹ (متانول خالص (۹۹) و اسید کلریدریک خالص (۱)) کاملاً ساییده و عصاره در لوله‌های سرپیچ دار ریخته شد و به‌مدت ۲۴ ساعت در تاریکی و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس به‌مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریوفوژ شد و جذب در طول‌موج ۵۵۰ نانومتر اندازه‌گیری شده و غلظت آنتوسیانین برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر گیاه گزارش شد (Wagner, 1979).

جهت اندازه‌گیری میزان آهن در بافت‌های گیاهی، پس از خشک‌شدن بخش هوایی و ریشه در آون، نمونه‌ها کاملاً مخلوط شده و به قطعات کوچک خرد شدند. از هر نمونه ۰/۰۵ گرم ماده گیاهی برداشت و در لوله‌های ۱۰ میلی‌لیتری ریخته شد و پس از افزودن دو میلی‌لیتر اسید نیتریک ۶۵٪ به‌مدت ۱۲ ساعت در زیر هود قرار داده شد. در مرحله بعد به مدت دو ساعت در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد در حمام آب گرم هضم شدند. پس از سردشدن یک میلی‌لیتر پراکسید هیدروژن اضافه گردید و مجدداً در حمام آب گرم در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد تا شفاف‌شدن قرار داده شد. پس از سردشدن در دمای آزمایشگاه، حجم نمونه‌ها با افزودن آب‌مقطر به ۱۰ میلی‌لیتر رسانده شدند. درنهایت مقدار آهن با استفاده از دستگاه طیف‌سنج جذب اتمی مدل (Hitach-770-8324) اندازه‌گیری شد.

به‌منظور اندازه‌گیری پروتئین محلول برگ، مقدار ۰/۲ گرم از بافت برگ نگهداری‌شده در فریزر (دمای ۴۰- درجه سانتیگراد) در هاون چینی سرد و در ظرف یخ با ۲ میلی‌لیتر بافر فسفات ۰/۱ مولار با اسیدیته ۶/۸ هموژن شد و سپس به‌مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۱۳۰۰۰ دور در دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ گردید (Kar and Mishra, 1976). سپس به ۵۰ میکرولیتر از فاز بالایی عصاره (سوپرناتانت) ۲/۵ میلی‌لیتر محلول برادفورد اضافه و جذب نمونه در طول‌موج ۵۹۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتری خوانده گردید. غلظت پروتئین (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) با استفاده از منحنی استاندارد و با کمک آلبومین سرم گاوی محاسبه شد (Bradford, 1976).

تجزیه آماری داده‌های حاصل از انجام آزمایش‌های فاکتوریل در طرح کاملاً تصادفی با استفاده از نرم‌افزار Graphed Pad Prism صورت گرفت. داده‌های آزمایش‌ها با سه تکرار زیستی به‌صورت میانگین ± SEM ارائه گردید. جهت بررسی تفاوت‌های معنی‌دار بین تیمارهای مختلف، داده‌ها با استفاده از آنالیز واریانس (two-way ANOVA) و آزمون Tukey در سطح آماری پنج درصد تجزیه و تحلیل شدند.

نتایج و بحث

تیمارهای آهن بر مقدار کلروفیل *a*، کلروفیل *b*، کلروفیل کل، کاروتنوئیدها و آنتوسیانین‌های گیاهان بومادران در سطح یک ده هزارم و بر نسبت کلروفیل *a/b* در سطح پنج صدم اثر معنی‌دار داشت و تیمارهای بور اثر معنی‌داری بر مقدار کلروفیل *a*، کلروفیل *b*، کلروفیل کل و کاروتنوئیدها در سطح یک ده هزارم و بر مقدار آنتوسیانین‌های گیاه بومادران در سطح یک هزارم و بر نسبت کلروفیل *a/b* در سطح پنج صدم نشان داد (جدول ۱). تیمار همزمان آهن و بور بر میزان کلروفیل *a*، کلروفیل *b*، کلروفیل کل، کاروتنوئیدها و آنتوسیانین‌ها در سطح یک ده هزارم اثر معنی‌دار داشت و بر نسبت کلروفیل *a/b* اثر معنی‌داری را نشان نداد.

در هر سه تیمار آهن، با افزایش سطح بور میزان کلروفیل *a* و کلروفیل کل در نمونه‌های برگ گیاهان بومادران افزایش پیدا کرد (شکل ۱A, C). بیشترین آنها در سطح آهن ۲۰ میکرومولار و بور ۷۵ میکرومولار مشاهده شد که نسبت به شاهد (آهن ۲۰ میکرومولار و بور ۲۵ میکرومولار) به‌ترتیب ۱۶٪ و ۳۵٪ افزایش داشتند. در سطح آهن صفر، بیشترین مقدار

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-30]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.45.19.7]

جدول ۱- میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس اثر آهن و بور بر محتوای رنگیزه‌های کلروفیل، کاروتنوئیدها و آنتوسیانین‌ها در گیاه بومادران

منابع تغییرات	درجه آزادی	کلروفیل *a*	کلروفیل *b*	کلروفیل کل	کلروفیل *a/b*	کاروتنوئیدها	آنتوسیانین‌ها
آهن	۲	۰/۷۸۲۱****	۰/۶۷۰۹****	۲/۴۷۱****	۰/۹۰۳۵*	۵/۴۶۱****	۷۹۴۵۶****
بور	۲	۰/۵۸۵۳****	۰/۲۷۵۲****	۱/۵۱۳****	۰/۸۹۹۳*	۳/۸۸۳****	۸۹۸۵***
آهن × بور	۴	۰/۱۳۹۵****	۰/۱۲۲۱****	۰/۴۳۵۶****	۰/۶۲۳۸^{ns}	۰/۸۷۳۱****	۱۴۹۵۲****
خطا	۱۸	۰/۰۲۹۸۱	۰/۰۰۷۵	۰/۰۱۵۹	۰/۲۳۷۸	۰/۰۴۵۴	۷۰۳/۸
ضریب تغییرات	درصد	۲/۶۴	۴/۸۸	۲/۸۷	۱۰/۳۴	۲/۸۴	۵/۰۷

^{ns}، *، *** و **** به‌ترتیب عدم تفاوت معنی‌دار و تفاوت معنی‌دار بین تیمارهای مختلف اعمال‌شده در سطوح احتمال پنج صدم، یک هزارم و یک ده هزارم را نشان می‌دهد.

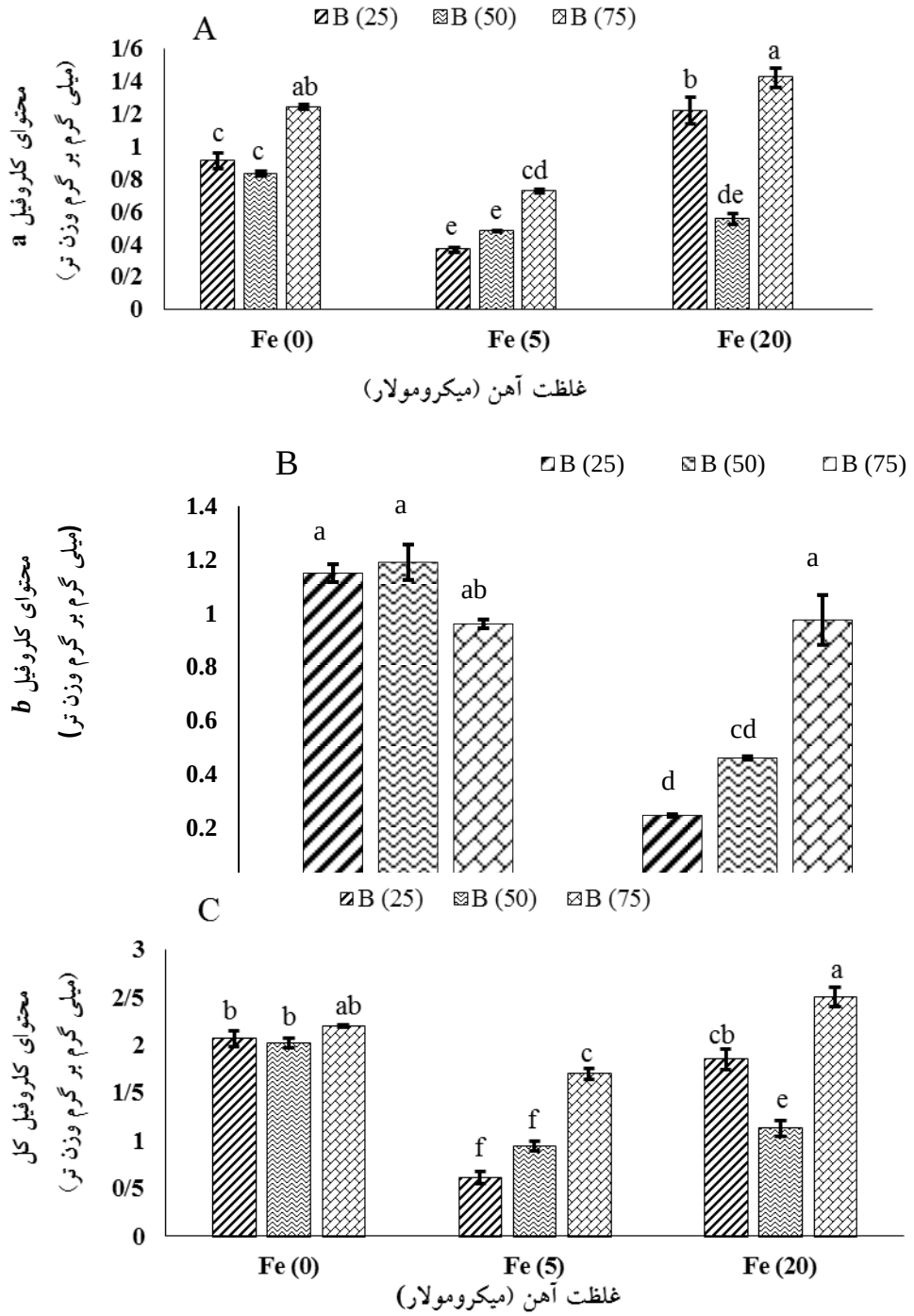
کلروفیل *b* در سطح بور ۵۰ میکرومولار مشاهده شد که نسبت به شاهد ۸۹٪ افزایش داشت. در سطح آهن ۵ و ۲۰ میکرومولار، بیشترین مقدار کلروفیل *b* در سطح بور ۷۵ میکرومولار مشاهده شد (شکل 1B). بیشترین مقدار نسبت کلروفیل *a/b* مربوط به آهن صفر و بور ۷۵ میکرومولار بود (شکل 2D).

بور باعث افزایش شدت فتوسنتز در برگ‌ها، افزایش تجمع ماده خشک در گیاه، بهبود انتقال مواد فتوسنتزی از اندام‌های رویشی به زایشی و افزایش محتوای کلروفیل می‌شود (عزیزی و همکاران، ۱۳۹۰). معمولاً در شرایط بور اضافی نسبت کلروفیل *a/b* افزایش می‌یابد (Hegazi *et al.*, 2018). بور در متابولسیم نیتروژن تأثیر مثبت دارد و از این طریق باعث افزایش کلروفیل می‌شود (Hassanzadeh *et al.*, 2016). آهن عنصری اساسی برای گیاهان است که نقش مهمی در عملکردهای سلولی و فیزیولوژیکی از متابولیسم تا رشد و نمو از جمله سنتز کلروفیل دارد (Alvarenga *et al.*, 2015). عناصر ریزمغذی، آنزیم‌های دخیل در ساخت کلروفیل را فعال کرده و استفاده از آنها باعث افزایش میزان انواع کلروفیل می‌شود (Mohammadzadeh Toutounchi and Amirnia, 2016).

بیشترین میزان کاروتنوئیدها در گیاه بومادران در تمامی سطوح آهن در سطح بور ۷۵ میکرومولار مشاهده شد و کمترین میزان کاروتنوئیدها در سطح آهن ۵ میکرومولار و بور ۲۵ میکرومولار مشاهده گردید (شکل 1B). در سطح آهن صفر و ۲۰ میکرومولار، بیشترین میزان آنتوسیانین در سطح بور ۷۵ میکرومولار مشاهده شد. در این تحقیق بیشترین میزان آنتوسیانین مربوط به تیمار آهن ۲۰ میکرومولار و بور ۲۵ میکرومولار یا شاهد بود و کمترین مقدار مربوط به سطح آهن صفر و بور ۵۰ میکرومولار بود که نسبت به شاهد (۷۰٪) کاهش نشان داد (شکل 2C).

آهن برای ساخت کاروتنوئیدها و کلروپلاست ضروری است، بنابراین با افزایش غلظت آهن، سنتز کاروتنوئیدها نیز افزایش می‌یابد. در گیاه کاهو محلول‌پاشی عنصر ریزمغذی آهن تأثیر فراوانی در افزایش میزان کاروتنوئید داشت (منظری توکلی و همکاران، ۱۳۹۳). افزایش میزان کاروتنوئید می‌تواند نقش حفاظتی برای گیاه در برابر رادیکال‌های آزاد اکسیژن داشته و با تشکیل گزانتوفیل، مانع از تخریب کلروفیل‌ها گردد (اقدسی و همکاران، ۱۳۹۷) کاروتنوئیدها به‌عنوان آنتی‌اکسیدان‌های بیولوژیکی نقش بسیار مهمی در حفاظت از بافت‌های گیاهی دارند. به‌نحوی‌که عدم حضور کاروتنوئیدها باعث آسیب فتواکسیداتیو شدید در بافت‌های گیاهی می‌شود (Gill and Tuteja, 2010). آنتوسیانین‌ها رنگدانه‌های محلول در آب که متعلق به خانواده فلاونوئیدها هستند به‌عنوان گیرنده رادیکال‌های آزاد عمل می‌کنند و باعث محافظت گیاهان در برابرتنش‌های اکسیداتیو می‌شوند. این رنگدانه‌ها در مقابل

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-30]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.45.19.7]



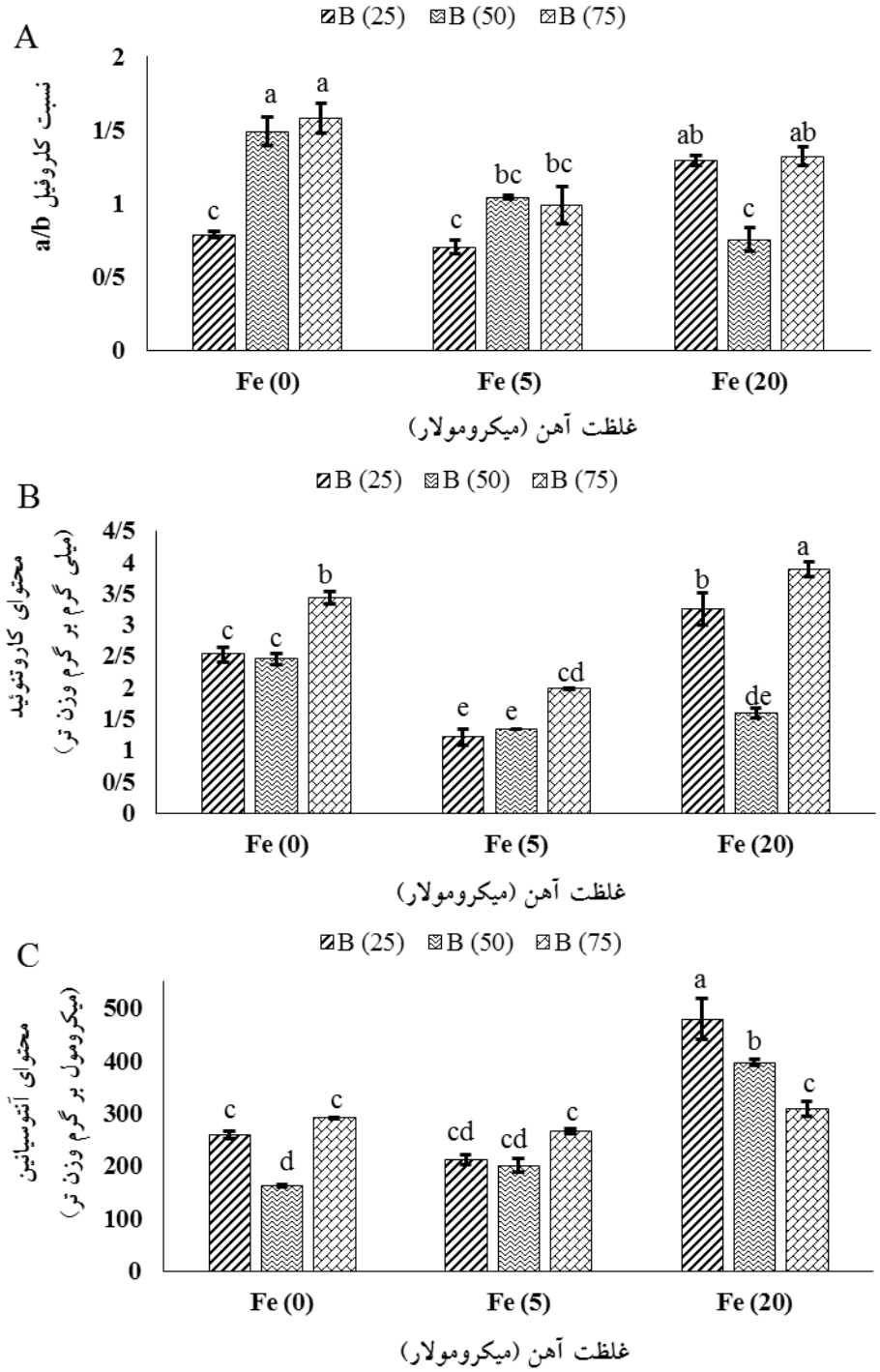
شکل ۱- اثر برهم‌کنش آهن و بور بر مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاه بومادران (*Achillea millefolium*). (A) کلروفیل *a* و (B) کلروفیل *b*، (C) کلروفیل کل. حروف مشترک بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار بین تیمارهای مختلف است.

تنش‌هایی مانند ماورابنفش، خشکی، درجه حرارت کم، فلزات سنگین و غیره افزایش پیدا می‌کنند (پارسا مطلق و همکاران، ۱۳۹۶). به‌واسطه افزایش مقدار رنگدانه‌های غیرآنزیمی توسط کاربرد آهن، از تخریب کلروفیل جلوگیری شده و به‌طور غیرمستقیم مقدار آنتوسیانین افزایش می‌یابد که احتمالاً دلیل افزایش آنتوسیانین با کاربرد آهن همین می‌باشد (حاجی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۹).

چنانچه در جدول ۲ مشاهده می‌شود، آهن بر وزن خشک

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-30]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.45.19.7]



شکل ۲- اثر برهم‌کنش آهن و بور برمقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاه بومادران (*Achillea millefolium*). (A) نسبت کلروفیل *a/b*، (B) کاروتنوئیدها و (C) آنتوسیانین‌ها. حروف مشترک بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار بین تیمارهای مختلف می‌باشد.

بخش هوایی و طول ریشه در سطح یک ده هزارم و بر وزن تر ریشه و اندام هوایی در سطح احتمال یک هزارم اثر معنی‌دار داشت، ولی غلظت‌های مختلف آهن تفاوت معنی‌داری در شاخص‌های وزن خشک ریشه و طول اندام هوایی ایجاد نکرد. اثر بور بر وزن خشک و تر بخش هوایی و طول ریشه و اندام هوایی در سطح یک ده هزارم معنی‌دار بوده و بر وزن خشک و تر ریشه تفاوت معنی‌داری را نشان نداد. اثر بر هم‌کنش آهن و بور بر وزن خشک و تر بخش هوایی و طول ریشه در سطح

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-30]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.45.19.7]

جدول ۲- میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس اثر آهن و بور بر محتوای وزن خشک اندام هوایی و ریشه، وزن تر اندام هوایی و ریشه، و طول اندام هوایی و ریشه در گیاه بومادران

منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	وزن تر اندام هوایی	وزن تر ریشه	طول اندام هوایی	طول ریشه
آهن	۲	۲۵۱۸****	۹۵/۸۱^{ns}	۳۸۶۸۱***	۷۴۶۵۲***	۲/۲۵۲^{ns}	۴۲/۶۴****
بور	۲	۴۷۳۰****	۲۱/۴۸^{ns}	۲۳۷۶۷۰****	۱۹۵۱^{ns}	۱۶/۴۶****	۱۲۹/۶****
آهن × بور	۴	۷۳۳۵****	۱۶۴/۲^{ns}	۷۲۱۴۴۳****	۷۲۰۴^{ns}	۷/۱۹۳***	۲۲/۵۶****
خطا	۱۸	۵۷/۵۹	۵۶/۴۱	۳۳۴۸	۳۳۵۳	۰/۷۴۷۷	۱/۷۰۱
ضریب تغییرات	درصد	۲/۳۲	۵۳/۷۵	۱/۷۲	۲۴/۹	۱۶/۹	۶/۵۸

^{ns}، *** و **** به‌ترتیب عدم تفاوت معنی‌دار و تفاوت معنی¬دار بین تیمارهای مختلف اعمال‌شده در سطوح احتمال یک هزارم و یک ده هزارم را نشان می‌دهد.

یک ده هزارم و بر طول اندام هوایی در سطح یک هزارم معنی‌دار بود و بر وزن خشک و تر ریشه تفاوت معنی‌داری نداشت.

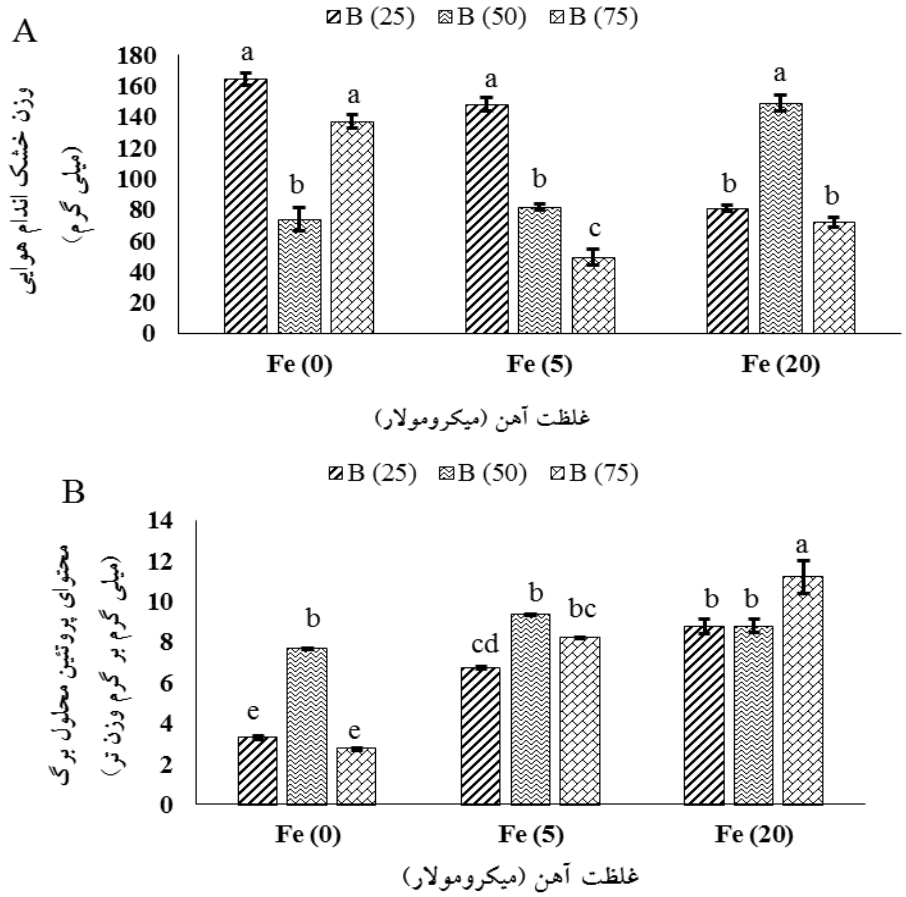
در سطح آهن صفر و ۵ میکرومولار، با افزایش میزان بور مقدار وزن خشک اندام هوایی کاهش یافت. در سطح آهن ۲۰ میکرومولار، بیشترین مقدار وزن خشک اندام هوایی در سطح بور ۵۰ میکرومولار مشاهده شد. کمترین مقدار وزن خشک اندام هوایی مربوط به سطح آهن ۵ میکرومولار و بور ۷۵ میکرومولار است که نسبت به شاهد، ۵۰٪ کاهش داشته است (شکل ۳A).

در شرایط مصرف توأم عناصر غذایی کم‌مصرف، عملکرد و رشد گیاه بیش از مصرف انفرادی این عناصر افزایش می‌یابد (عقیقی شاهوردی و همکاران، ۱۳۹۶). مطالعات انجام‌شده توسط جم و همکاران (۱۳۹۴) نشان داد که عملکرد سیب‌زمینی تحت‌تأثیر محلول‌پاشی کودهای ریزمغذی به‌صورت معنی‌داری افزایش یافت. بور نقش کلیدی در انتقال آب و مواد غذایی از ریشه به اندام هوایی دارد. هم‌چنین به‌طور معنی‌داری باعث افزایش سطح برگ، محتوای کلروفیل و شدت فتوسنتز در برگ‌ها و درنتیجه باعث افزایش تجمع ماده خشک در گیاهان می‌شود. مرادی تلاوت و فتحی (۱۳۸۶) گزارش کردند که در کلزا مصرف بور باعث افزایش وزن خشک ریشه و اندام هوایی می‌شود. افزایش ماده خشک نشان‌دهنده تأثیرگذاری عناصر کم‌مصرف در انتقال بیشتر مواد فتوسنتزی به سمت اندام‌های هوایی است. باوجود آنکه بور یکی از عناصر کم‌مصرف اساسی برای رشدونمو گیاهان است، به‌نظر می‌رسد که گیاه بومادران (*A. millefolium*) نیاز بالایی به این عنصر ندارد (Alvarenga *et al.*, 2015). مشابه این تحقیق، مطالعات قبلی نیز نشان داد که غلظت‌های سمی بور باعث کاهش وزن خشک و تر گیاه زیتون، گوجه‌فرنگی و پسته شده است (Rostami *et al.*, 2017). به‌طورکلی سمیت بور می‌تواند منجر به کاهش تقسیم سلولی و رشد ریشه شود (Ardic *et al.*, 2009). مصرف کودهای دارای عنصر آهن می‌تواند با فعال کردن سیستم‌های آنزیمی و فعالیت‌های متابولیکی باعث افزایش تولید انرژی، سنتز پروتئین و قندها و درنتیجه توسعه سطوح برگی شود که درنهایت به‌صورت افزایش ماده خشک ملاحظه می‌شود (شرف الدین شیرازی و فاضلی، ۱۳۹۴).

اثر آهن بر میزان آهن اندام هوایی و ریشه، پروتئین محلول برگ و محتوای آب نسبی برگ به‌ترتیب در سطح یک صدم، یک هزارم، یک ده هزارم و یک صدم معنی¬دار بود. حداکثر میزان آهن ریشه و اندام هوایی به‌ترتیب ۹۵۱ و ۶۲۰ میکروگرم برگرم وزن خشک بدست آمد. اثر معنی‌دار بور بر میزان آهن ریشه و پروتئین محلول برگ به‌ترتیب در سطح یک صدم و یک ده هزارم مشاهده گردید و بر میزان آهن اندام هوایی و بر محتوای آب نسبی اثر معنی‌داری را نشان نداد. اثر برهم‌کنش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-30]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.45.19.7]



شکل ۳- اثر سطوح مختلف عناصر آهن و بور بر میزان (A) وزن خشک بخش هوایی و (B) پروتئین محلول برگ گیاه بومادران (*Achillea millefolium*). حروف مشترک بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار بین تیمارهای مختلف می‌باشد.

جدول ۳- میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس اثر تیمارهای آهن و بور بر محتوای آهن اندام هوایی و ریشه، پروتئین محلول برگ و محتوای آب نسبی در گیاه بومادران

منابع تغییرات	درجه آزادی	آهن اندام هوایی	آهن ریشه	پروتئین محلول برگ	محتوی آب نسبی
آهن	۲	۳۶۳۷۷**	۱۱۴۴۷۷***	۹۵/۵۱****	۹۰/۰۲**
بور	۲	۷۳۱۰۷^{ns}	۷۲۸۲۰**	۱۲/۳۱****	۱۹/۷۲^{ns}
آهن × بور	۴	۱۳۴۶۶*	۱۷۱۷۸^{ns}	۱۰/۳۱****	۴/۹۳۱^{ns}
خطا	۱۸	۳۷۳۰	۷۳۴۳	۰/۲۸۷۶	۱۰/۱۰
ضریب تغییرات	درصد	۳۴/۳۹	۲۲/۹۷	۲/۷۳	۴۳/۱۸

^{ns}، *، **، *** و **** به‌ترتیب عدم تفاوت معنی‌دار، معنی‌داری در سطوح احتمال پنج صدم، یک صدم، یک هزارم و یک ده هزارم را نشان می‌دهند.

آهن و بور بر میزان آهن اندام هوایی و پروتئین محلول برگ به‌ترتیب در سطح پنج صدم و یک ده هزارم معنی‌دار بوده ولی تفاوت معنی‌داری در میزان آهن ریشه و محتوای آب نسبی گیاهان ایجاد نکرد (جدول ۳).

در سطح آهن صفر و ۵ میکرومولار، بیشترین مقدار پروتئین محلول برگ در سطح بور ۵۰ میکرومولار و در سطح

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-30]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.45.19.7]

آهن ۲۰ میکرومولار، بیشترین مقدار پروتئین در سطح بور ۷۵ میکرومولار مشاهده شد. بالاترین مقدار پروتئین مربوط به بالاترین سطح آهن و بالاترین سطح بور بود که نسبت به شاهد ۲۷٪ افزایش داشت و کمترین مقدار پروتئین مربوط به سطح آهن صفر و بور ۷۵ میکرومولار بود (شکل ۳B).

افزایش میزان بور منجر به کاهش میزان آب نسبی می‌شود که احتمالاً به‌دلیل کاهش دسترسی به آب برای فرایند توسعه سلولی و کاهش فشار تورژسانس است که باعث پلاسمولیز و پژمردگی سلول‌های گیاهی می‌شود (Rostami *et al.*, 2017).

مطالعات انجام‌شده توسط Brown و همکاران (۲۰۰۷) نشان داد که در اثر مصرف آهن و روی مقدار کل کربوهیدرات‌ها، نشاسته و پروتئین دانه افزایش می‌یابد و همچنین آهن در ساخت دو گروه اصلی پروتئین‌ها به‌عنوان گیرنده و دهنده الکترون در واکنش‌های تنفس، در ساختار پروتئین‌هایی نظیر لگ هموگلوبین و همچنین در فرآیندهای وابسته به نور در فتوسنتز تأثیر بسزایی دارد. آهن برای ساخت پروتئین‌ها ضروری است به‌طوری‌که تعداد ریبوزوم‌های سلول‌های برگ با کمبود این عنصر کاهش پیدا می‌کنند (امیری نژاد و همکاران، ۱۳۹۴). آهن در ساخت پروتئین‌ها دخالت دارد و از طریق افزایش فردوکسین باعث افزایش احیای نیترات و تبدیل هیدرات‌های کربن به پروتئین می‌شود (وزیری کته شوری و همکاران، ۱۳۹۲). از آنجایی که آهن از مهم‌ترین عناصری است که در متابولیسم نیتروژن و سطح برگ گیاه نقش دارد، پس می‌توان انتظار داشت که با اعمال تیمار آهن در گیاهانی که علایم کمبود این عنصر را نشان می‌دهند، پروتئین‌سازی افزایش یابد (محمدی و همکاران، ۱۳۹۸). مطالعات انجام‌شده توسط Nasef و همکاران (۲۰۰۶) نشان داد که کاربرد بور باعث افزایش توأم میزان روغن و پروتئین در بادام زمینی شد و در توضیح گزارش خود عنوان کردند تأثیر محلول‌پاشی ممکن است به نقش این عنصر در واکنش‌های متابولیکی اساسی مرتبط باشد. هم‌چنین بور در تعدادی از مسیرهای متابولیکی مانند انتقال قندها، تعرق، متابولیسم کربوهیدرات و ایندول استیک اسید نقش اساسی دارد (عزیزی و همکاران، ۱۳۹۰).

نتیجه‌گیری

در این پژوهش افزودن همزمان مواد مغذی آهن و بور در محیط‌کشت باعث افزایش معنی‌دار شاخص‌های فتوسنتزی از قبیل کلروفیل *a*، کلروفیل *b*، کلروفیل کل، کاروتنوئیدها و آنتوسیانین‌ها و هم‌چنین افزایش معنی‌دار پروتئین محلول شد. غلظت‌های مختلف بور تفاوت معنی‌داری در طول ریشه ایجاد نکرد ولی غلظت‌های ۵ و ۲۰ میکرومولار آهن باعث افزایش معنی‌دار طول ریشه گردید. به‌صورت کلی به‌نظر می‌رسد تیمار گیاه بومادران با غلظت‌های آهن ۲۰ میکرومولار و بور ۷۵ میکرومولار بیشترین تأثیر را در شاخص‌های فیزیولوژیک گیاه دارد.

منابع

اقدسی، س.، مدرس ثانوی، ع.، آقا علیخانی، م. و کشاورز، ح. (۱۳۹۷) اثر تنش کم آبی و محلول‌پاشی آهن و منگنز بر برخی صفات فیزیولوژیک و عملکرد کمی و کیفی علوفه‌ای ماش سبز (*Vigna radiata* L.) تحت تنش کم آبی. فرآیند و کارکرد گیاهی ۷: ۱۱۵-۱۰۱.

امیری‌نژاد، م.، اکبری، غ.، باقی‌زاده، ا.، اله دادی، ی. و شهبازی، م. (۱۳۹۴) اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی آهن و روی بر برخی صفات بیوشمیایی گیاه دارویی زیره سبز. به‌زراعی کشاورزی ۱۷: ۸۶۶-۸۵۵.

توجه، م.، کریمیان، ن.، رونقی، ع.، یثربی، ج.، حمیدی، ر. و علما، و. (۱۳۹۴) اثر سطوح فسفر و بور بر عملکرد، اجزای عملکرد و کیفیت دانه دو رقم کلزا در شرایط کشت گلخانه‌ای. علوم فنون کشت‌های گلخانه‌ای ۶: ۱۱۲-۹۹.

پارسا مطلق، ب.، رضوانی مقدم، ب.، قربانی، ر. و ساردویی، ذ. (۱۳۹۶) بررسی برخی صفات فیتوشیمیایی گیاه دارویی چای ترش تحت تأثیر سیستم‌های مختلف تغذیه‌ای و آب آبیاری. تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران ۳۳: ۹۴۰-۹۲۸.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-30]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.45.19.7]

پیرزاد، ع.، طوسی، پ. و درویش‌زاده، ر. (۱۳۹۲) اثر محلول‌پاشی عناصر آهن و روی بر صفات گیاهی و میزان اسانس آنیسون. علوم زراعی ایران ۱۵: ۲۳-۱۲.

توحیدی، م. (۱۳۹۴) تأثیر زمان مصرف محلول‌پاشی کود کامل ریزمغذی بر عملکرد و اجزای عملکرد ماش (*Vigna radiate* L.) تحت تنش خشکی. اکوفیزیولوژی گیاهی ۷: ۵۷-۵۰.

جوادی، ح. و صالحی شانجانی، پ. (۱۳۹۰) مقایسه برخی صفات جوانه‌زنی و بینه بذور جمعیت‌های مختلف گونه بومادران (*Achillea wilhelmsii* C. Koch) در شرایط شاهد و پیش‌سرما. علوم وتحقیقات بذر ایران ۵: ۳۹-۲۷.

جعفری، ح. و روستا، ح. ر. (۱۳۹۶) اثر منابع مختلف آهن بر پارامترهای رویشی و فیزیولوژیک دو رقم کاهو تجاری. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای ۸: ۳۲-۲۱.

جم، ا.، عبادی، ع. و پرمون، ق. (۱۳۹۴) نقش عناصر ریزمغذی آهن و روی در عملکرد و اجزای عملکرد سیب زمینی. اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی ۹: ۱۹۰-۱۷۷.

حاجی‌زاده، س.، جبارزاده، ز. و رسولی صدقیانی، م. ح. (۱۳۹۹) بهبود ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گل ژربرا رقم دانی (*Gerbera jamesonii*) با کاربرد همزمان فولیک اسید و نانو کلات آهن. فرآیند و کارکرد گیاهی ۹: ۲۲۴-۲۰۷.

خیاوی، م.، خورشیدی بنام، م.، آفتاب بدری، م.، آذرآبادی، س.، فرامرزی، ع. و عمارت پرداز، ج. (۱۳۸۹) تأثیر محلول‌پاشی سولفات روی و بور بر عملکرد و برخی صفات کیفی دانه دو رقم کلزا (*Brassica napus* L.). دانش آب و خاک ۲۰: ۴۵-۳۱.

رضائی چیانه، ا.، زهتاب سلماسی، س.، پیرزاد، ع. و رحیمی، ا. (۱۳۹۴) اثر محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی آهن، روی و منگنز بر عملکرد، اجزای عملکرد و روغن دانه همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.). علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی) ۲۹: ۹۵-۱۰۲.

زاهدی خراسانی، م.، طاهریان، ع.، وفایی، ع.، رجبی، م. و رشیدی‌پور، ع. (۱۳۸۵) ارزیابی اثر عصاره هیدروالکلی سرشاخه‌های گیاه بومادران (*Achillea millefolium*) بر تعدیل اضطراب در موش کوچک آزمایشگاهی. علمی دانشگاه علوم پزشکی سمنان ۷: ۱۷۶-۱۷۱.

سپهری، ع.، چیت‌ساز، ا.، قره باغلی، ن. و ثمن، م. (۱۳۹۶) اثر سولفات روی و آهن بر عملکرد و محتوای کامفرول گیاه دارویی کاسنی (*Cichiorium intybus* L.). فناوری و تولیدات گیاهی ۷: ۱۱۱-۹۹.

شرف‌الدین شیرازی، س. و فاضلی، ف. (۱۳۹۴) اثر میکروکلات آهن و سولفات آهن بر عملکرد و اجزای عملکرد آویشن باغی (*Thymus daenensis* Celak). تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران ۳: ۳۸۲-۳۷۴.

عزیزی، خ.، نوروزیان، ع.، حیدری، س. و یعقوبی، م. (۱۳۹۰) بررسی تأثیر محلول‌پاشی عناصر روی و بور بر عملکرد، برخی شاخص‌های رشد، میزان روغن و پروتئین بذر کلزا (*Brassica napus* L.) در شرایط اقلیمی خرم‌آباد. دانش زراعت۱۹: ۱۵-۱.

عقیقی شاهوردی، م.، عمیدی، ح. و طباطبایی، س. ج. (۱۳۹۶) اثر محلول‌پاشی آهن، بور و سلنیوم بر خصوصیات مورفولوژیک ریشه و محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه دارویی استویا (*Stevia rebaudiana* Bertoni) تحت تنش شوری کلرید سدیمی. فیزیولوژی محیطی گیاهی ۱۲: ۱۸-۱.

کافی، م.، بزوئی، ا.، صالحی م.، کمندی، ع.، معصومی، ع. و نباتی، ج. (۱۳۹۳) فیزیولوژی تنش‌های محیطی در گیاهان. چاپ سوم، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، مشهد.

محمدی، ص.، مهتدی، ا. و موحدی دهنوی، م. (۱۳۹۸) تأثیر غلظت‌های مختلف آهن بر رشد و جذب عناصر توسط گیاه کتان روغنی (*Linum usitatissimum* L.) تحت تنش شوری. فرآیند و کارکرد گیاهی ۸: ۴۷۷-۴۶۳.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-30]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.45.19.7]

مرادی تلاوت، م. و فتحی، ق. (۱۳۸۶) واکنش متفاوت ژنوتیپ‌های کلزا به مصرف بر. مجله علمی کشاورزی ۳۰: ۱۳۷-۱۲۵.

منظری توکلی، م.، باقری، و. و روستا، ح. (۱۳۹۳) مقایسه کارایی منابع مختلف آهن بر رشد و ویژگی‌های فیزیولوژیک کاهو در شرایط قلیایی در سیستم هیدروپونیک. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای ۵: ۴۸-۴۱.

وزیری کته شوری، س.، دانشور، م.، سهرابی، ا. و نظریان فیروزآبادی، ف. (۱۳۹۲) تأثیر مقادیر مختلف فسفر و محلول‌پاشی آهن و روی بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد نخود زراعی (*Cicer arietinum* L.). به زراعی کشاورزی ۱۵: ۳۰-۱۷.

Alcaraz, M. J. and Ferrandiz, M. L. (1987) Modification of arachidonic metabolism by flavonoids. Journal of Ethnopharmacology 21: 209-229.

Alloway, B. J. (2008) Zinc in Soils and Crop Nutrition. 2nd Ed. Published by IZA and IFA Brussels, Belgium and Paris, France.

Alvarenga, I., Boldrin, P. F., Pacheco, F. V., Torres, S., Bertolucci, S. K. V. and Pinto, J. E. B. (2015) Effects on growth, essential oil content and composition of the volatile fraction of *Achillea millefolium* L. cultivated in hydroponic systems deficient in macro- and microelements. Scientia Horticulturae 197: 329-338.

Alvarenga, I., Pacheco, F. V., Alvarenga, A. A., Bertolucci, S. K. V. and Pinto, J. E. B. (2018) Growth and production of volatile compounds of yarrow (*Achillea millefolium* L.) under different irrigation depths. Anais da Academia Brasileira de Ciencias 90: 3901-3910.

Ardıc, M., Sekmen, A. H., Turkan, I., Tokur, S. and Ozdemir, F. (2009) The effects of boron toxicity on root antioxidant systems of two chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. Plant and Soil 314: 99-108.

Arnon, D. I. (1949) Copper enzyme in isolated chloroplast and polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology 24: 1-15.

Bradford, M. M. (1976) A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein dye-binding. Analytical Biochemistry 38: 248-252.

Brown, G. R., Helen, W. M. and Sugrue, R. J. (2007) Respiratory syncytial virus assembly occurs in GM1-rich regions of the host-cell membrane and alters the cellular distribution of tyrosine phosphorylated caveolin-1. Journal of General Virology 83: 1841-1850.

Brown, P. H., Bellaloui, N., Wimmer, M. A., Bassil, E. S., Ruiz, J., Hu, H., Pfeffer, F. D. and Romheld, V. (2002) Boron in plant biology. Plant Biology 4: 211-229.

Briat, J. F., Duc, C., Ravet, K. and Gaymard, F. (2010) Ferritins and iron storage in plant. Biochimica et Biophysica Acta 1800: 806-814.

Catav, S. S., Genc, T. O., Kesik Oktay, M. and Kucukakyuz, K. (2018) Effect of boron toxicity on oxidative stress and genotoxicity in Wheat (*Triticum aestivum* L.). Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 100: 502-508.

Eraslan, F., Inal, A., Gunes, A. and Alpaslan, M. (2007) Boron toxicity alters nitrite reductase activity, prolin accumulation, membrane permeability, and mineral constituents of tomato and pepper plants. Journal of Plant Nutrition 30: 981-994.

Gill, S. S. and Tuteja, N. (2010) Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. Plant Physiology and Biochemistry 48: 909-930.

Hassanzadeh, A., Heidari, M., Khoshghalb, J. and Ghorbani Ghozhdi, H. (2016) Effects of nitrogen and foliar application of boron on yield and some physiological characteristics in karela (*Momordica charantia* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 32: 634-644.

Hegazi, E. S., El-Motaium, R. A., Yehia, T. A. and Hashim, M. E. (2018) Effect of foliar boron application on boron, chlorophyll, phenol, sugars and hormones concentration of olive (*Olea europaea* L.) buds, leaves, and fruits. Journal of Plant Nutrition 41: 749-765.

Heidarzade, A., Esmaeili, M. and Abbasi, R. (2016) Response of soybean to molybdenum and iron spray under well-watered and water deficit conditions. Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences 4: 37-46.

Iqbal, S., Farooq, M., Cheema, S. A. and Afzal, I. (2017) Boron seed priming improves the seedling emergence, growth, grain yield and grain biofortification of bread wheat. International Journal of Agriculture and Biology 19: 177-182.

Kar, M. and Mishra, D. (1976) Catalase, peroxides and polyphenoloxides activities during rice leaf senescence. Plant Physiology 57: 315-319.

Lichtenthaler, H. K. (1987) Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. Methods in Enzymology 148: 350-382.

Marschner, H. (2012) Mineral Nutrition of Higher Plants. 3rd Ed. Academic Press, London.

Martinez, J. P., Lutts, S., Schanck, A., Bajji, M. and Kinet, J. M. (2004) Is osmotic adjustment required for water stress resistance in the Mediterranean shrub *Atriplex halimus* L? Journal of Plant Physiology 161: 1041-1051.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-30]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.45.19.7]

Mohammadzadeh Toutounchi, P. and Amirnia, R. (2016) Effect of foliar application of micronutrients on some morphological traits of Fenugreek (*Trigonella foenumgraecum* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 32: 301-308.

Nasef, M. A., Nadia Badran M. and Amal El-Hamide, F. A. (2006) Response of peanut to foliar spray with boron and/or Rhizobium inoculation. Journal of Applied Sciences Research 2: 1330-1337.

Ramroudi, M., Keilha Jaleh, M., Galavi, M., Seghatoleslami, M. J. and Baradran, R. (2011) The effect of various micronutrient foliar applications and irrigation regimes on quantitative and qualitative yields of isabgo (*Plantago ovata* Forsk). Agroecology 3: 219-226.

Rostami, H., Tabatabaei, S. J. and Zare Nahandi, F. (2017) Effects of different boron concentration on the growth and physiological characteristics of two olive cultivars. Journal of Plant Nutrition 40: 2421-2431.

Turan, M. A., Taban, N. and Taban, S. (2009) Effect of calcium on the alleviation of boron toxicity and localization of boron and calcium in cell wall of wheat. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca 37: 99-103.

Wagner, G. J. (1979) Content and vacuole/extra vacuole distribution of neutral sugars, free amino acids and anthocyanins in protoplast. Plant Physiology 64: 88-93.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-30]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.45.19.7]

Effect of different concentrations of iron and boron on growth and physiological properties of *Achillea millefolium* L.

Maryam Yaghobzadeh[1], Ahmad Mohtadi[*1], Athar Sadat Javanmard[1], Ali Akbar Ghotbi Ravandi[2]

[1] Department of Biology, Faculty of Science, Yasouj University
[2] Department of Plant Sciences and Biotechnology, Faculty of Life Sciences and Biotechnology, Shahid Beheshti University
(Received: 02/06/2021, Accepted: 24/08/2021)

Abstract

Plants need essential nutrients for their growth and development. Iron and boron are micronutrients that are needed by plants in very small concentrations. This study was conducted as a pot experiment to investigate the effect of iron and boron on *Achillea millefolium* in a factorial randomized complete design with three replications. Iron at three levels (0, 5 and 20 µM) and boron at three levels (25, 50 and 75 µM) were selected. The results showed that the effects of iron, boron and their interaction on most of the growth and physiological indices of *Achillea millefolium* were significant. Iron (20 µM) and boron (75 µM) and their interaction significantly increased chlorophyll a, b, total chlorophyll content, chlorophyll a / b ratio, carotenoid compared to the control samples (20 µM iron and 25 µM boron). Different concentrations of boron had no effect on relative water content. Also, different concentrations of boron and iron did not lead to a significant change in the root dry weight. Iron significantly influenced root and shoot iron concentration and soluble leaf protein. Boron had no significant effect on shoot iron concentration, but changed other two indices significantly. The maximum amount of root and shoot iron was 951 and 620 µg/g DW, respectively. In conclusion, it seemed that treatments of *Achillea millefolium* with iron (20 µM) and boron (75 µM) lead to significant increase in growth and physiological parameters of this plant.

Keywords: Chlorophyll, Dry weight, Medicinal plants and Micronutrients.

Corresponding author, Email: a.mohtadi@yu.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-30]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.45.19.7]