مقاله پژوهشی

نشریه علمی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران | شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/ijmapr.2021.353818.2957

جلد ۳۷، شماره ۴، صفحه ۷۰۳-۶۸۸ (۱۴۰۰) | شناسه دیجیتال (DOR): 20.1001.1.17350905.37.4.9.6

# تأثیر محلول‌پاشی کلات آهن و روی بر صفات رشدی، بازده اسانس و شیرابه آنغوزه (*Ferula assa-foetida* L.) تحت شرایط آبیاری تکمیلی

**عبدالحمید علیخانی[۱]، اصغر رحیمی[۲]، محدثه شمس‌الدین سعید[۳*]، سید رسول صحافی[۴] و محمدرضا پیرمرادی[۵]**

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، رشته زراعت، دانشگاه ولیعصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، ایران

۲- دانشیار، گروه تولید گیاهی و ژنتیک، دانشگاه ولیعصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، ایران

۳*- نویسنده مسئول، استادیار، گروه تولیدات گیاهی، مرکز آموزش عالی کشاورزی بردسیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

پست الکترونیک: mohadesehsaid2014@uk.ac.ir

۴- استادیار، گروه تولید گیاهی و ژنتیک، دانشگاه ولیعصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، ایران

۵- استادیار، گروه علوم باغبانی، دانشگاه ولیعصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، ایران

تاریخ دریافت: اسفند ۱۳۹۹ | تاریخ اصلاح نهایی: مرداد ۱۴۰۰ | تاریخ پذیرش: مرداد ۱۴۰۰

## چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر کاربرد کلات آهن و روی و آبیاری تکمیلی بر کمّیت و کیفیت شیرابه آنغوزه (*Ferula assa-foetida* L.)، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شهرستان نی‌ریز (استان فارس) در سال ۱۳۹۷ انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل آبیاری تکمیلی (بدون آبیاری (شاهد)، یک‌بار آبیاری و دوبار آبیاری) و محلول‌پاشی کلات روی و آهن (بدون محلول‌پاشی (شاهد)، محلول‌پاشی روی (۲ در هزار)، محلول‌پاشی آهن (۲ در هزار) و محلول‌پاشی توأم آهن (۱/۵ در هزار) و روی (۱/۵ در هزار)) بودند. صفات مورد بررسی شامل تعداد برگ، طول برگ، قطر طوقه، وزن خشک اندام هوایی، درصد زنده‌مانی بوته‌ها، غلظت عناصر آهن، منگنز، مس و روی در اندام هوایی، وزن شیرابه و بازده اسانس بودند. نتایج نشان داد اعمال آبیاری تکمیلی باعث افزایش تعداد برگ، وزن خشک اندام هوایی و درصد زنده‌مانی آنغوزه گردید. محتوی آهن اندام هوایی بیشتری با دوبار آبیاری تکمیلی حاصل شد. همچنین، محلول‌پاشی کلات آهن و روی باعث افزایش طول برگ و درصد زنده‌مانی گیاه نسبت به شاهد گردید. بیشترین محتوای آهن اندام هوایی با محلول‌پاشی کلات آهن بدست آمد. در هر دو شرایط آبیاری تکمیلی و شاهد، محلول‌پاشی کلات روی و آهن باعث افزایش معنی‌دار ۱/۵ برابری حجم بوته، ۲ تا ۲/۸ برابری وزن شیرابه و ۰/۶ تا ۰/۹ درصدی بازده اسانس شد. علاوه بر این، در شرایط بدون آبیاری تکمیلی، بیشترین محتوای منگنز اندام هوایی گیاه با محلول‌پاشی کلات روی و نیز محلول‌پاشی توأم کلات آهن و روی حاصل شد، اما در شرایط یک و دوبار آبیاری تکمیلی، محلول‌پاشی اثر معنی‌داری بر این پارامتر نداشت. در هر دو شرایط آبیاری تکمیلی و شاهد، بیشترین محتوای مس اندام هوایی گیاه در تیمار بدون محلول‌پاشی مشاهده شد. بیشترین میزان روی اندام هوایی این گیاه با محلول‌پاشی روی حاصل شد. بنابراین به‌نظر می‌رسد انجام آبیاری تکمیلی به‌همراه محلول‌پاشی کلات آهن و روی، به‌واسطه بهبود خصوصیات رشدی سبب افزایش عملکرد شیرابه و بازده اسانس آنغوزه شود.

**واژه‌های کلیدی:** آنغوزه (*Ferula assa-foetida* L.)، درصد زنده‌مانی، بازده اسانس.

## مقدمه

آنغوزه با نام علمی *Ferula assa-foetida* L. گیاهی مرتعی از خانواده Apiaceae است که شیرابه حاصل از ریشه آن ارزش دارویی و صنعتی بالایی دارد. این گیاه علفی، چندساله و دارای ریشه راست گوشتی است که پس از هفت سال گل می‌دهد و بعد از بین می‌رود. صمغ آنغوزه قبل از گلدهی با تیغزنی از طریق ریشه حاصل می‌شود. ریشه‌های فرعی آنغوزه، موازی سطح زمین گسترش می‌یابند، به همین دلیل نقش مهمی در کاهش فرسایش خاک مراتع ایفاء می‌نمایند (Pirmoradi *et al.*, 2016). آنغوزه برای درمان بسیاری از بیماری‌ها مانند سرفه، آسم، زخم معده، صرع، نفخ شکم، برونشیت، انگل‌های روده، ضداسپاسم و آنفلونزا و نیز برای پیشگیری از سرطان و دیابت و برای تقویت اعصاب و حافظه کاربرد دارد (Amalraj & Gopi, 2017). بااین‌حال، مصرف آنغوزه بهره‌برداری شده در ایران بسیار محدود است و سالیانه حدود ۷۰ تن صمغ خام این گیاه به سایر کشورها ازجمله هند، امارات و اوکراین صادر می‌شود (Amalraj & Gopi, 2017). نوع مرغوب آنغوزه دارای ۶۲٪ رزین، ۲۵٪ صمغ، ۷-۳٪ اسانس، ۱/۲۸٪ اسید فرولیک آزاد و به‌مقدار بسیار جزئی وانیلین می‌باشد (Moghaddam & Farhadi, 2015). تقریباً تمام صمغ آنغوزه دارای ترکیب‌های دی، تری، تتراسولفید، مشتقات کومارین، کامولونفرول، اپی‌ساماركاندین، آمبلیپرنین و کانفرول می‌باشد. همچنین ترکیب‌هایی مانند آزافوئتیدین، فروکولیسین، آزافوئتیدنول، آزافوئتیدنولB، سارادافرین، استرهای جدید و فوئتیدین از گروه کومارین‌های سزکوئی‌ترپنوئیدی از رزین صمغ آنغوزه جداسازی شده است. همچنین عناصری از قبیل آهن، استرانسیم، روی و مس به میزان قابل ملاحظه در صمغ این گیاه وجود دارد (Khajeh *et al.*, 2010). اسانس آنغوزه مایعی بیرنگ و یا به رنگ زرد روشن یا قهوه‌ای، با بوی بسیار بد است که در مقابل هوا به سرعت اکسیده می‌شود. اسانس آنغوزه دارای ترکیب‌های گوگرددار مانند بوتیل پروپنیل‌دی‌سولفاید است که ۶۵٪ آن را تشکیل می‌دهند. همچنین درصدهای کمتری از آلفا-پینن، بتا-پینن، ۳-کارن، سیس-اوسمین و آلفا-هومولن می‌باشد. این ترکیب‌ها در اثر اکسیداسیون تبدیل به سزکویی‌ترپن می‌شوند که بوی آن شبیه اسطوخودوس است (Bandyopadhyay *et al.*, 2006).

عوامل محیطی ازجمله تنش‌های محیطی، عوامل مختلف اکولوژیکی، جغرافیایی، اقلیمی، خاکی و ارتفاع موجب تغییر در رشد و مقدار و کیفیت مواد مؤثره مانند آلکالوئیدها، گلیکوزیدها، استروئیدها و اسانس گیاهان دارویی می‌شوند (Petropoulos *et al.*, 2008). تنش خشکی به‌عنوان مهمترین تنش محیطی، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، منجر به کاهش رشد و عملکرد گیاهان زراعی و دارویی می‌شود. همچنین میزان تولید و نوع متابولیت‌های ثانویه گیاهان تحت تأثیر کمبود آب که اصلی‌ترین جنبه فیزیولوژی و بیوشیمی گیاهان است، قرار می‌گیرد (Reddy *et al.*, 2004؛ Wang *et al.*, 2003؛ Saeidnejad *et al.*, 2013؛ Sharafzadeh & Zare, 2011). براساس تحقیقات انجام شده، تولید مواد مؤثره گیاهان دارویی تحت تأثیر شرایط تنش افزایش می‌یابد (Petropoulos *et al.*, 2008). این در حالیست که تنش نباید به میزانی باشد که به اختلال در فرایندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی منجر گردد، زیرا در این صورت عملکرد به‌شدت کاهش می‌یابد (Omidbaigi *et al.*, 2005). تغییر در عملکرد اسانس و ترکیب‌های آن ناشی از فعالیت آنزیم‌ها و بهبود متابولیسم است (Khalid, 2006). در همین راستا، در بررسی اثر آبیاری بر میزان اسانس گونه‌های مختلف صنعتی و دارویی گزارش شده است که میزان محصول اسانس گونه‌های اسطوخودوس، بابونه، افسنطین و گیاه چمن معطر در شرایط کم‌آبی بیشتر از فصل بارانی بوده است (Asgarirad *et al.*, 2010). همچنین در شرایط تنش خشکی، نه‌تنها میزان اسانس گیاه آویشن افزایش یافته، بلکه افزایش تیمول موجود در اسانس را نیز به همراه داشته است (Bahreininejad *et al.*, 2013). در گیاه دارویی اسفرزه نیز افزایش تعداد دفعات آبیاری موجب بهبود رشد رویشی، افزایش تولید مواد فتوسنتزی و افزایش عملکرد دانه گردید (Najafi & Rezvani Moghadam, 2002).

تغذیه برگی یکی از مناسب‌ترین روش‌های تأمین نیاز گیاه به عناصر غذایی است که مواد غذایی به سرعت در اختیار گیاه قرار می‌گیرند (Khoshgoftar-Manesh, 2008). به‌دلیل بالا بودن اسیدیته، آهک فراوان و مواد آلی پایین خاک‌های کشور ایران، جذب آهن و روی و دیگر عناصر ریزمغذی توسط گیاه معمولاً کم است و در چنین شرایطی کمبود عناصر ریزمغذی مشاهده می‌شود. به‌طوری که کمبود روی در بیشتر خاک‌های ایران، ازجمله خاک‌های آهکی مناطق خشک و خاک‌های خنثی و کمی اسیدی شمال ایران گزارش شده است (Kheyrkhah *et al*., 2018). در بررسی وضعیت روی در استان‌های مختلف کشور گزارش شده است که ۵۶/۳٪ از خاک‌های ایران کمتر از ۰/۷۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم قابل استفاده است و تنها ۳۱٪ از خاک‌ها بیشتر از یک میلی‌گرم در کیلوگرم روی قابل استفاده دارند (Shahbazi & Besharati, 2013).

همچنین با توجه به خصوصیات خاک‌های بیشتر مناطق کشور که دارای کربنات کلسیم زیاد می‌باشند، مصرف خاکی آهن منجر به رسوب ترکیب‌های کربناته ترکیب‌های ذکرشده در خاک می‌شود. بنابراین محلول‌پاشی این عنصر برای رفع کمبود این عناصر در خاک مفید می‌باشد (Kheyrkhah *et al*., 2018). آهن یکی از عناصر ضروری برای رشد گیاهان است که در تولید کلروفیل و در برخی سیستم‌های آنزیمی مؤثر در فتوسنتز و تنفس مشارکت دارد و در صورت کمبود آن، حالت کلروز در برگ ایجاد می‌شود (Kobraeei & Shamsi, 2013). این عنصر همچنین در احیای نیترات و سولفات نقش دارد (Pinto *et al*., 2005). همچنین عنصر روی در بسیاری از سیستم‌های آنزیمی گیاه نقش کاتالیزوری و یا ساختمانی و در ساخت پروتئین و تولید بذر گیاه نیز نقش بسزایی دارد. مقدار کم روی موجب تولید میوه‌های کوچک با پوست نازک می‌شود. گیاه برای تشکیل و توسعه موفقیت‌آمیز گل به مقدار کافی روی نیازمند است (Khoshgoftar-Manesh, 2008). در پژوهشی در گیاه انیسون گزارش شد که محلول‌پاشی آهن موجب افزایش عملکرد دانه، میزان کلروفیل و عملکرد اسانس انیسون شد و این افزایش با محلول‌پاشی روی بیشتر شد (Pirzad *et al*., 2013). در همین راستا، تأثیر مثبت کاربرد ریزمغذی‌های آهن و روی بر بهبود رشد کمّی و کیفی گیاهان دارویی گل‌گاوزبان باغی (Kheiri *et al*., 2017)، ریحان شیرین (Ghorbanpour *et al*., 2016) و گشنیز (Said-Al Ahl & Omer, 2009) گزارش شده است. گیاه آنغوزه در خاک‌های با مقدار بالای آهک، رشد و عملکرد بالاتری تولید می‌کند (Moghaddam & Farhadi, 2015) و این در حالیست که در خاک‌های قلیایی جذب عناصری همانند آهن و روی به علت تثبیت در خاک و تشکیل کمپلکس با کربنات کلسیم کاهش می‌یابد؛ بنابراین این پژوهش با هدف بررسی تأثیر محلول‌پاشی عناصر آهن و روی بر رشد و عملکرد شیرابه و اسانس آنغوزه در شرایط آبیاری تکمیلی، اجرا شد.

## مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزارع دهستان ده‌چاه (مشکان)، بخش پشتکوه شهرستان نی‌ریز استان فارس، در موقعیت ۲۹ درجه و ۲۸ دقیقه و ۳۸ ثانیه عرض شمالی و ۵۴ درجه و ۱۹ دقیقه و ۵۸ ثانیه طول شرقی و ارتفاع ۲۲۳۴ متر از سطح دریا به‌منظور ارزیابی تأثیر محلول‌پاشی کلات روی و آهن بر صفات موفولوژیکی، کیفیت اندام هوایی گیاه آنغوزه و نیز شیرابه تولیدی در شرایط سطوح مختلف آبیاری تکمیلی، در سال ۱۳۹۷ به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل آبیاری در سه سطح (یک‌بار آبیاری تکمیلی، دو بار آبیاری تکمیلی و بدون آبیاری تکمیلی) و محلول‌پاشی کلات‌آهن و روی در چهار سطح (محلول‌پاشی روی با غلظت ۲ در هزار، محلول‌پاشی کلات‌آهن با غلظت ۲ در هزار، محلول‌پاشی کلات‌آهن و روی هر یک با غلظت ۱/۵ در هزار و نیز بدون محلول‌پاشی) بودند. با توجه به عدم وجود اطلاعات درباره نیاز عناصر روی و آهن در آنغوزه، غلظت‌های مورد استفاده براساس بهترین مقدار توصیه شده کلات آهن و روی برای محصولات باغی (۱ تا ۲ در هزار) در نظر گرفته شدند. خصوصیات خاک در جدول ۱ گزارش شده است.

**جدول ۱- خصوصیات خاک مزرعه مورد مطالعه**

| بافت | EC | اسیدیته (pH) | روی (میلی‌گرم بر کیلوگرم) | آهن (میلی‌گرم بر کیلوگرم) | نیتروژن (٪) | فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم) | پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| شنی لومی | ۰/۷۵ | ۸ | ۰/۴۳ | ۱/۵ | ۰/۱۱ | ۹ | ۲۵۶ |

خصوصیات اقلیمی منطقه عبارت از میانگین دمای سالانه ۱۸/۹، حداکثر دمای ۴۰/۴ و حداقل دمای ۳/۶-، حداقل رطوبت نسبی ۱۸/۴ و حداکثر رطوبت نسبی ۵۸/۹٪ و جمع ساعات آفتابی ۳۳۶۰/۱ بودند. در جدول ۲ آمار سی ساله میزان بارندگی در ماه‌های مختلف سال گزارش شده است.

**جدول ۲- آمار سی ساله متوسط بارندگی ایستگاه مشکان بر حسب میلی‌متر**

| ماه | مهر | آبان | آذر | دی | بهمن | اسفند | فروردین | اردیبهشت | خرداد | تیر | مرداد | شهریور | سالیانه |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| حداقل | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| حداکثر | ۲ | ۹۵/۵ | ۱۷۹/۵ | ۲۰۶ | ۱۶۶/۵ | ۲۳۷/۵ | ۱۱۲ | ۷۷ | ۷ | ۵۶ | ۲۲ | ۲۴ | ۵۳۶ |
| میانگین | ۰/۱ | ۹/۲ | ۴۰/۸ | ۶۱/۲ | ۵۳/۷ | ۵۳/۷ | ۳۵ | ۱۵/۱ | ۰/۶ | ۳/۷ | ۲/۴ | ۱/۲ | ۲۷۶/۷ |

برای استفاده حداکثری از نزولات آسمانی در دی‌ماه سال ۱۳۹۱ در یک هکتار زمین از مزارع شهرستان ده‌چاه کشت آنغوزه با تراکم ۱۰۰۰۰ بوته در هکتار به‌صورت ردیفی و در داخل جوی‌ها انجام شد. فاصله ردیف‌ها یک متر و فواصل بوته روی ردیف ۵۰ سانتی‌متر و عمق کاشت ۳-۵ سانتی‌متر بود و تعداد ۳ تا ۴ بذر در هر نقطه کشت شدند. پس از ظهور جوانه‌ها (۴ تا ۵ ماه بعد از کاشت) عملیات تنک کردن در دو مرحله انجام شد. آنغوزه به حداقل ۵ سال زمان نیاز دارد تا ریشه آن ضخیم شده و آماده تیغزنی گردد. در طی سه سال اول بعد از کاشت آنغوزه، در اواخر ماه‌های فروردین، اردیبهشت و خرداد محلول‌پاشی آهن و روی و وجین علف‌های هرز روی ردیف و بین ردیف‌های کاشت به روش دستی انجام شد. همچنین ترمیم مسیر جوی‌های کاشت برای ذخیره نزولات آسمانی انجام شد و بقایای برگ‌های خشک شده گیاه آنغوزه برای افزایش ماده آلی خاک، جلوگیری از فرسایش آبی و بادی و حفظ رطوبت خاک در سطح زمین رها شدند. در سال پنجم قبل از شروع گلدهی، تعداد ۱۲۰ بوته آنغوزه با سن ۵ سال، با تاج و شرایط پرورش یکسان انتخاب شد. هر یک از گیاهان مورد مطالعه علامت‌گذاری و شماره‌گذاری شدند. به‌عبارتی هر تکرار آزمایش شامل ۱۰ بوته آنغوزه پنج‌ساله بود. علاوه‌بر تعداد بوته مورد نیاز، تعدادی گیاه اضافه نیز انتخاب شد تا در صورت گل دادن برخی از بوته‌های انتخابی، گیاهان جایگزین وجود داشته باشد. یادآوری می‌شود که گیاه آنغوزه بعد از گلدهی و تولید بذر خشک می‌شود و می‌میرد.

با توجه به کوتاه بودن دوره رشد آنغوزه، تیمارهای آبیاری در دو زمان ابتدای فروردین و اردیبهشت‌ماه انجام

شد. گیاهانی که آبیاری نشدند و فقط با بارندگی سبز گردیدند به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شدند. در هر نوبت آبیاری با توجه به تیمار مورد نظر از جریان آبی با دبی سه لیتر در ثانیه برای آبیاری آنغوزه استفاده گردید. دو روز بعد از هر مرحله آبیاری، محلول‌پاشی کلات روی و آهن انجام شد. به‌عبارتی دیگر، محلول‌پاشی بار اول در مرحله سه برگی و برای بار دوم در مرحله ۵ برگی انجام شد.

در پایان دوره رشد گیاه آنغوزه در اواسط اردیبهشت‌ماه، زمانی که ۱۰٪ از برگ‌های پایینی هر بوته زرد و در واقع حداکثر رشد رویشی انجام شده بود، خصوصیات مورفولوژیکی آنغوزه اندازه‌گیری شد. برای محاسبه تعداد برگ شمارش، طول برگ و قطر طوقه پنج بوته مورد ارزیابی قرار گرفتند و نیز تعداد ۲ بوته برای اندازه‌گیری وزن خشک اندام هوایی استفاده گردید.

براساس رابطه زیر، حجم بوته (V) از طریق اندازه‌گیری ارتفاع در قطر گیاه محاسبه شد (Sodaeizadeh & Mansouri, 2014).

$$V = (4/3)\pi ab^2$$

که در آن a: ارتفاع گیاه و b: قطر گیاه آنغوزه بود.

پس از زرد شدن بیش از ۵۰٪ از برگ‌های گیاه، مراحل پیچاندن و کشتن آن که روش رایج بهره‌برداری از گیاه آنغوزه است، انجام شد. برای بهره‌برداری از گیاه آنغوزه سه مرحله انجام شد. مرحله پیچاندن، از اواسط تا اواخر اردیبهشت‌ماه وقتی که برگ‌های بوته‌های آنغوزه زرد می‌شود و حالت شکنندگی خود را از دست می‌دهند، انجام شد. برای انجام این مرحله تمام بوته و گاهی یکی از برگ‌های بوته که از بقیه بزرگتر می‌باشد پیچانده و سنگی به وزن حدود یک کیلوگرم روی آن قرار می‌گیرد تا به همین صورت خشک گردد. دلیل اصلی انجام این مرحله گم نشدن جای بوته در مراحل بعد بود و این مرحله ۵-۴ روز طول کشید. در مرحله کُشتن به‌وسیله تیشه مخصوصی چاله‌ای به عمق حدود ۱۵ سانتی‌متر در اطراف ریشه گیا ه حفر گردید و بعد با دست الیاف اطراف طوقه که بقایای غلاف برگ‌های سال قبل بود جدا شد. بعد خاک نرم اطراف گودال دور ریشه ریخته شد. این مرحله ۲۰ روز به طول انجامید. در نهایت مرحله تیغ زدن در اواخر خردادماه که انتقال صمغ از برگ‌ها به ریشه تکمیل شده و خشک شدن کامل برگ‌ها اتفاق افتاده است، به‌وسیله کارد مخصوصی ۱۵ مرتبه و به‌فاصله زمانی هر چهار روز به روش تیغ‌زنی دو طرفه بر روی ریشه گیاهان مورد مطالعه اجرا شد. پس از تیغ‌زنی بوته‌ها، حداقل ۲ روز باید صبر کرد تا از محل زخم، صمغ به بیرون از ریشه تراوش نماید. همچنین برای کمک به سفت شدن شیره گیاه و جلوگیری از آلوده شدن شیره به خاک و خاشاک به کمک شاخ و برگ گیاه سایبانی بر روی ریشه احداث شد. این مرحله دو ماه به طول انجامید و در هر بار تیغ‌زنی ابتدا شیره تراوش شده از تیغ‌زنی قبل توسط ابزاری به نام کلنت جمع‌آوری گردید و بعد با کارد عمل تیغ زدن انجام شد (Omidbaigi *et al.*, 2005). بعد از تیغ زدن بوته‌ها، در بهار سال آینده دهه اول فروردین ماه تعداد بوته زنده مانده شمارش و درصد زنده‌مانی بوته‌ها محاسبه شد. بر روی بوته‌های زنده، بعد از دو سال تیغ‌زنی دوباره می‌تواند انجام شود. برای اندازه‌گیری وزن شیرابه، شیرابه گیاهان موجود در هر تکرار، هر چهار روز یک مرتبه، به‌صورت جداگانه جمع‌آوری و بعد توزین شد.

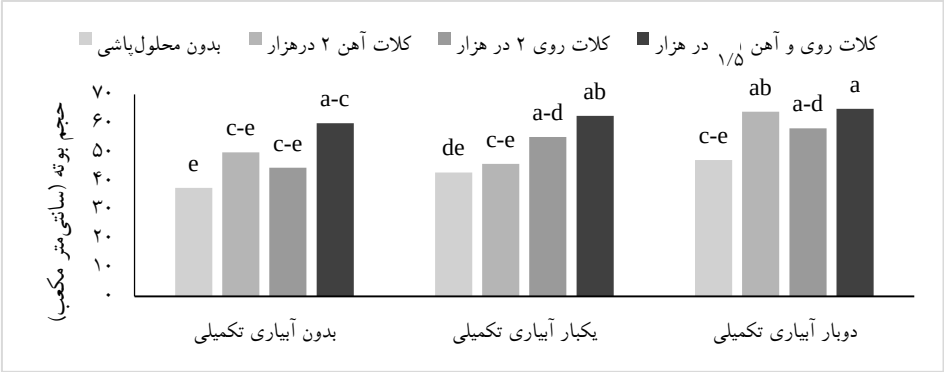
برای تعیین بازده اسانس، ۱۲ نمونه ۵۰ گرمی شیرابه که در آزمایش تعیین عملکرد شیرابه از گیاهان مزرعه مورد تحقیق استحصال شده بود، برداشت گردید. اسانس آنها توسط دستگاه کلونجر با روش تقطیر با آب استخراج شد. برای انجام این عمل مقدار ۵۰ گرم از شیرابه آنغوزه به مدت ۳ ساعت در ۵۰۰ میلی‌لیتر آب در داخل بالن دستگاه، حرارت داده شد. به‌منظور جلوگیری از واکنش‌های نامطلوب، اسانس حاصل با استفاده از سولفات‌سدیم خشک، آبگیری گردید. با تقسیم وزن اسانس استخراج شده بر وزن شیرابه اولیه و بعد ضرب در عدد صد، بازده اسانس هر نمونه شیرابه بدست آمد. میانگین درصد اسانس ۱۲ نمونه، بازده اسانس شیرابه هر مزرعه در نظر گرفته شد. به‌منظور اندازه‌گیری میزان عناصر آهن، روی، مس و منگنز اندام هوایی گیاه آنغوزه، ابتدا ۰/۵ گرم از نمونه خشک و آسیاب

شده گیاه به‌مدت ۳ ساعت در کوره با دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت و نمونه‌ها به خاکستر تبدیل شد. سپس به هر نمونه، ۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۲ نرمال اضافه و توسط آب‌مقطر به حجم ۵۰cc رسانیده شد و غلظت عناصر آهن، روی، مس و منگنز عصاره با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. برای هر یک از عناصر ابتدا نمودار استانداردها رسم گردید و غلظت عناصر در نمونه‌های مختلف با استفاده از عدد جذب دستگاه و رابطه خطی نمودار استانداردها محاسبه شد. در نهایت، داده‌های بدست آمده با استفاده از نرم‌افزار SAS آنالیز و مقایسه میانگین صفات با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ انجام شد.

## نتایج

### صفات مورفولوژیکی و اجزای عملکرد گیاه آنغوزه

نتایج حاصل از این پژوهش بیانگر تأثیر معنی‌دار آبیاری تکمیلی بر تعداد برگ و وزن خشک اندام هوایی گیاه آنغوزه بود (جدول ۳). به‌طوری که انجام آبیاری تکمیلی باعث افزایش تعداد برگ آنغوزه نسبت به تیمار بدون آبیاری تکمیلی شد (جدول ۴). همچنین اعمال آبیاری تکمیلی افزایش وزن خشک اندام هوایی آنغوزه را به‌همراه داشت. به‌طوری که کمترین وزن خشک اندام هوایی گیاه در تیمار بدون آبیاری تکمیلی مشاهده شد و تیمارهای یک‌بار و دوبار آبیاری تکمیلی بدون اختلاف آماری معنی‌دار با همدیگر، دارای بیشترین وزن خشک اندام هوایی آنغوزه بودند (جدول ۴). در مقابل، مشخص گردید که محلول‌پاشی کلات آهن و روی تأثیر آماری معنی‌داری بر تعداد برگ و وزن خشک اندام هوایی آنغوزه نداشت. نتایج این پژوهش بیانگر تأثیر معنی‌دار محلول‌پاشی کلات آهن و روی بر قطر طوقه و طول برگ آنغوزه بود. محلول‌پاشی کلات آهن و روی باعث افزایش معنی‌دار قطر طوقه نسبت به تیمار بدون محلول‌پاشی شد، البته بین تیمارهای مختلف محلول‌پاشی تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین بیانگر افزایش معنی‌دار طول برگ آنغوزه تحت تأثیر محلول‌پاشی توأم آهن و روی نسبت به تیمار شاهد بود و بین تیمار شاهد و محلول‌پاشی روی و آهن به تنهایی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۵). یادآوری می‌شود که قطر طوقه و طول برگ آنغوزه اثر معنی‌داری از سطوح مختلف آبیاری تکمیلی نپذیرفت. علاوه‌براین، حجم بوته آنغوزه تحت تأثیر آبیاری تکمیلی، محلول‌پاشی کلات روی و آهن و نیز اثر متقابل آبیاری تکمیلی و محلول‌پاشی قرار گرفت. به‌طوری که در هر سه سطح آبیاری تکمیلی، محلول‌پاشی توأم کلات آهن و روی باعث افزایش معنی‌دار حجم بوته آنغوزه نسبت به تیمار شاهد شد (شکل ۱).




**شکل ۱- اثر متقابل آبیاری تکمیلی و محلول‌پاشی بر حجم بوته آنغوزه**

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس صفات رشدی و عملکردی و غلظت عناصر در آنغوزه

| منابع تغییر | درجه آزادی | میانگین مربعات | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | تعداد برگ | قطر طوقه | طول برگ | حجم بوته | وزن شیرابه | بازده اسانس | وزن خشک | درصد زنده‌مانی | منگنز | مس | روی | آهن |
| بلوک | ۲ | ۰/۲۳ns | *۱/۵۸ | ۱۰۲** | ۳۳۸** | ۰/۶۷ns | ۰/۲۲** | ۲۰۷ns | ۹/۶۹** | ۲/۹۰ns | ۰/۰۳ns | ۱۴/۳۳ns | ۱۵۶۲۶ns |
| آبیاری | ۲ | ۱/۷۱* | ۰/۹۱ns | ۳۸/۹۹ns | ۲۱۶** | ۱۰۲** | ۰/۰۰۵ns | ۱۲۹۷** | ۹/۴** | ۲۴/۵۸ | ۱۰/۷۰** | ۸۴۹۲** | ۲۲۰۱۸۰** |
| محلول‌پاشی | ۳ | ۰/۴۰ns | ۲/۳۱** | ۸۱/۷۵** | ۲۷۸** | ۱۷۸** | ۰/۸۰۵** | ۱۰۲ns | ۲۵/۸** | ۱۶۵/۶۶* | ۲/۰۴** | ۱۹۵۸۷** | ۱۶۱۱۷۷** |
| آبیاری × محلول‌پاشی | ۶ | ۰/۶۹ns | ۰/۵۸ns | ۴۲/۴۴ns | ۲۰۸** | ۲/۴۶** | ۰/۱۶** | ۳۱ns | ۰/۶۴ns | ۱۱۹/۵۸* | ۰/۷۳** | ۷۴۶۵** | ۳۷۴۸۱ns |
| خطا | ۲۲ | ۰/۳۸ | ۰/۳۲ | ۶۵/۸۶ | ۳۰/۹۰ | ۰/۶۶ | ۰/۰۳۳ | ۶۶ | ۱/۵۱ | ۴۵/۶۳ | ۰/۱۷ | ۸۸/۳۵ | ۱۵۰۱۹ |
| ضریب تغییرات | – | ۱/۵۴ | ۱۷/۵۱ | ۱۸/۴۲ | ۱۰/۵۳ | ۶/۱۹ | ۱۰/۷۳ | ۲۳/۸ | ۱۴/۸۳ | ۲۱/۵۰ | ۲۶/۴۷ | ۱۶/۶۹ | ۲۰/۸۴ |

ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح ۵٪ و ۱٪

**جدول ۴- تعداد برگ، وزن خشک اندام هوایی، تعداد بوته‌های زنده پس از تیغزنی و میزان آهن اندام هوایی گیاه آنغوزه تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری تکمیلی**

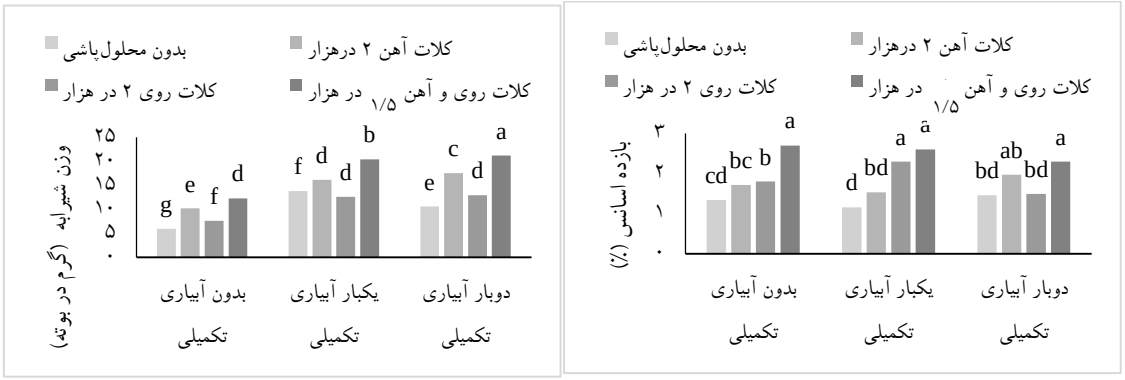
| سطوح آبیاری | تعداد برگ | وزن خشک اندام هوایی (گرم در بوته) | تعداد بوته‌های زنده پس از تیغزنی | میزان آهن اندام هوایی (ppm) |
|---|---|---|---|---|
| بدون آبیاری تکمیلی | ۳/۰۰b | ۲۱/۸۱b | ۵/۱۸c | ۴۸۸/۳۳b |
| یک‌بار آبیاری تکمیلی | ۴/۰۰a | ۴۳/۵۴a | ۸/۲۷b | ۵۳۳/۲۹b |
| دوبار آبیاری تکمیلی | ۴/۵۰a | ۳۶/۱۹a | ۱۱/۱۶a | ۷۴۲/۰۴a |

در هر ستون حروف مشترک، براساس آزمون دانکن در سطح ۵٪تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

**جدول ۵- قطر طوقه، طول برگ، تعداد بوته‌های زنده پس از تیغزنی و میزان آهن اندام هوایی گیاه آنغوزه تحت تأثیر محلول‌پاشی تکی و توأم کلات آهن و روی**

| محلول‌پاشی | قطر طوقه (سانتی‌متر) | طول برگ (سانتی‌متر) | تعداد بوته‌های زنده پس از تیغزنی | میزان آهن (ppm) |
|---|---|---|---|---|
| بدون محلول‌پاشی | ۲/۵b | ۲۱/۳۳b | ۶/۳۰c | ۴۲۶/۹۴c |
| کلات آهن ۲ در هزار | ۳/۳۳a | ۲۵/۳۳b | ۸/۷۷b | ۷۵۴/۶۱a |
| کلات روی ۲ در هزار | ۳/۳۳a | ۲۳/۶۲b | ۶/۵۰c | ۵۸۶/۸۹b |
| کلات روی و آهن ۱/۵ در هزار | ۳/۸۶a | ۲۸/۲۵a | ۱۰/۷۵a | ۵۸۲/۸۳b |

در هر ستون حروف مشترک، براساس آزمون دانکن در سطح ۵٪ تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.




**شکل ۲- نمودارهای اثرهای متقابل آبیاری تکمیلی و محلول‌پاشی بر بازده اسانس و وزن شیرابه آنغوزه**

**وزن شیرابه و بازده اسانس آنغوزه**

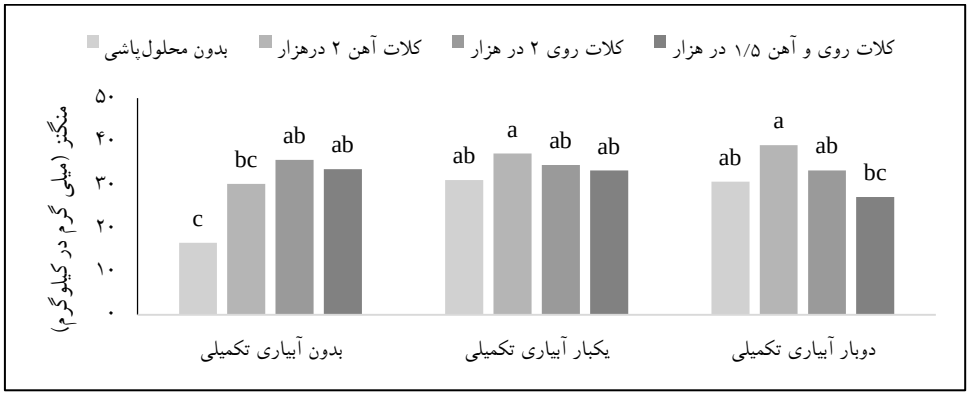
براساس نتایج مشخص گردید که وزن شیرابه و بازده اسانس آنغوزه تحت تأثیر آبیاری تکمیلی و محلول‌پاشی کلات آهن قرار گرفت (جدول ۳). به‌طوری که در هر سه سطح آبیاری تکمیلی، محلول‌پاشی کلات روی و آهن به تنهایی و توأم با هم باعث افزایش معنی‌دار وزن شیرابه آنغوزه نسبت به تیمار بدون محلول‌پاشی گردید، البته بیشترین وزن شیرابه در تیمار محلول‌پاشی توأم کلات آهن و روی و کمترین آن مربوط به تیمار شاهد بود (شکل ۲). با توجه به شکل ۲ محلول‌پاشی کلات آهن و روی باعث افزایش معنی‌دار بازده اسانس آنغوزه نسبت به تیمار بدون محلول‌پاشی (شاهد) شد. به‌طوری که در هر سه سطح آبیاری تکمیلی، کمترین بازده اسانس این گیاه در تیمار بدون محلول‌پاشی حاصل شد.

**درصد زنده‌مانی بوته‌ها پس از تیغ‌زنی آنغوزه**

درصد زنده‌مانی بوته‌های آنغوزه پس از تیغ‌زنی، تحت تأثیر آبیاری تکمیلی و محلول‌پاشی کلات آهن و روی قرار گرفت (جدول ۳). به‌طوری که نتایج نشان داد با افزایش تعداد دور آبیاری تکمیلی، تعداد بوته‌های زنده آنغوزه افزایش یافت و کمترین تعداد بوته‌های زنده آنغوزه در تیمار بدون آبیاری تکمیلی و بیشترین درصد زنده‌مانی در تیمار دوبار آبیاری تکمیلی مشاهده شد (جدول ۴). همچنین محلول‌پاشی کلات آهن و نیز محلول‌پاشی توأم کلات آهن و روی، افزایش معنی‌دار تعداد بوته‌های زنده آنغوزه را نسبت به تیمار شاهد و محلول‌پاشی کلات روی به همراه داشت (جدول ۵).

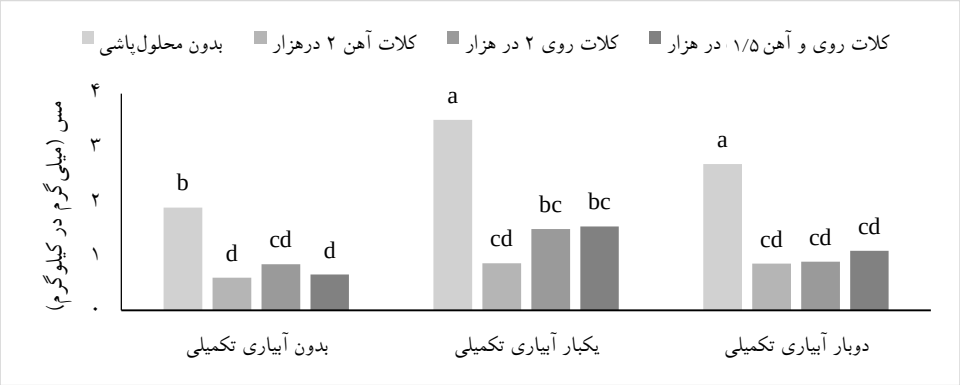
**میزان عناصر منگنز، مس، روی و آهن در اندام هوایی آنغوزه**

نتایج بدست آمده بیانگر آن بود که در شرایط شاهد (بدون آبیاری تکمیلی)، کمترین میزان منگنز اندام هوایی آنغوزه در تیمار بدون محلول‌پاشی کلات آهن و روی حاصل شد و بجز تیمار محلول‌پاشی کلات آهن با سایر تیمارها تفاوت معنی‌دار داشت. در مقابل، در شرایط یک‌بار و دوبار آبیاری تکمیلی، محلول‌پاشی کلات آهن و روی به صورت تکی و یا توأم، تأثیر معنی‌داری بر محتوای منگنز اندام هوایی نداشت (شکل ۳).




**شکل ۳- اثر متقابل آبیاری تکمیلی و محلول‌پاشی بر غلظت منگنز در اندام هوایی آنغوزه**

در هر سه سطح آبیاری تکمیلی، محلول‌پاشی کلات آهن و روی، کاهش معنی‌دار محتوای مس اندام هوایی گیاه آنغوزه را در پی داشت (شکل ۴).




**شکل ۴- اثر متقابل آبیاری تکمیلی و محلول‌پاشی بر غلظت مس در اندام هوایی آنغوزه**

در مقابل، نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری تکمیلی و محلول‌پاشی کلات آهن و روی حکایت از آن داشت که در هر سه سطح آبیاری تکمیلی، محلول‌پاشی کلات روی و نیز محلول‌پاشی توأم کلات آهن و روی باعث افزایش معنی‌دار محتوای روی در اندام هوایی گیاه آنغوزه شد (جدول ۴ و شکل ۵).

**شکل ۵- اثر متقابل آبیاری تکمیلی و محلول‌پاشی بر غلظت عنصر روی در آنغوزه**

از سویی، در هر سه سطح آبیاری تکمیلی، محلول‌پاشی کلات آهن به تنهایی، کاهش محتوای روی اندام هوایی این گیاه را در مقایسه با تیمار محلول‌پاشی روی و محلول‌پاشی توأم آهن و روی به همراه داشت که احتمالاً مربوط به رقابت بین این دو عنصر بر سر مکان‌های جذب است که در شرایط دسترسی زیاد گیاه به آهن، موجب کاهش میزان جذب روی توسط گیاه می‌گردد. همچنین در شرایط بدون آبیاری تکمیلی و دوبار آبیاری تکمیلی، بیشترین میزان روی اندام هوایی آنغوزه با محلول‌پاشی کلات روی حاصل شد و با سایر تیمارها تفاوت آماری معنی‌دار داشت. اما در تیمار یک‌بار آبیاری تکمیلی بین تیمار محلول‌پاشی روی و محلول‌پاشی توأم روی و آهن تفاوت آماری معنی‌دار مشاهده نشد. با توجه به نتایج مقایسه میانگین، تیمارهای یک‌بار و دوبار آبیاری تکمیلی، بدون اختلاف آماری معنی‌دار، باعث افزایش قابل ملاحظه مقدار آهن اندام هوایی آنغوزه گردید (جدول ۴). همچنین بیشتر میزان آهن اندام هوایی گیاه در تیمار محلول‌پاشی کلات آهن ۲ در هزار مشاهده شد (جدول ۵).

## بحث

براساس نتایج این پژوهش مشخص گردید که انجام آبیاری تکمیلی موجب بهبود رشد و تأثیر مثبت بر صفات مورفولوژیکی گیاه آنغوزه گردید (جدول‌های ۴ و ۵ و شکل‌های ۱، ۲ و ۳). در شرایطی که گیاه با کمبود آب مواجه است، گیاه برای کاهش تعرق، اقدام به بسته شدن روزنه‌ها می‌کند که نتیجه آن ممانعت از ورود دی‌اکسید کربن به برگ و کاهش فتوسنتز است. بنابراین با کاهش فتوسنتز برخی از شاخص‌های رشدی مانند تعداد برگ کاهش می‌یابد. همچنین کم آبی باعث کاهش فشار آماس و اختلال در تقسیم سلولی شده، در نتیجه باعث کاهش رشد گیاه می‌شود. یکی از راه‌های دفاعی برای جلوگیری از هدررفت بیشتر آب گیاه در شرایط کم آبی کاهش تعداد برگ در گیاه است، بنابراین کاهش برگ در تیمار بدون آبیاری تکمیلی در این پژوهش (جدول ۴) را می‌توان یک سازوکار سازگاری برای جلوگیری از هدررفت بیشتر آب در نظر گرفت. مشابه نتایج این پژوهش، گزارش شده است که تنش خشکی باعث کاهش تعداد برگ در گیاه کاسنی (Jazizadeh & Mortezaei Nejad, 2018) و نیز کنجد (Ayoubizadeh *et al.*, 2018) شده است. در این پژوهش کاهش وزن خشک اندام هوایی آنغوزه در تیمار بدون آبیاری تکمیلی (جدول ۴) را می‌توان به کمبود آب در دسترس گیاه نسبت داد. البته برای جبران کمبود آب، بخشی از مواد فتوسنتزی برای دسترسی به آب بیشتر صرف رشد ریشه گیاه می‌شود. همچنین کاهش ماده خشک در شرایط بدون آبیاری تکمیلی را می‌توان به فشار آماس سلولی ناشی از کاهش سطح برگ نسبت داد. در این شرایط نیز برای جلوگیری از هدررفت آب، سطح برگ کاهش می‌یابد، در نتیجه کاهش فتوسنتز و تولید شیره پرورده و کاهش تولید ماده خشک را در پی خواهد داشت (Diallo *et al.*, 2001). در همین راستا، کاهش رشد و وزن خشک اندام هوایی گیاه گلرنگ (Behdani & Mousavifar, 2012) و مرزه (Sodaeizadeh *et al.*, 2016) نیز تحت شرایط کم آبیاری گزارش شده است.

براساس نتایج این پژوهش مشخص گردید که محلول‌پاشی کلات روی و آهن تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر افزایش قطر طوقه و طول برگ گیاه آنغوزه داشت (جدول ۵). عناصر میکرو باعث بهبود سیستم فتوسنتزی گیاه و در نتیجه افزایش رشد می‌شوند (Pirzad *et al.*, 2013). نقش مثبت عناصر میکرو ازجمله عنصر روی در افزایش قطر طوقه را می‌توان به نقش مثبت روی در بهبود عملکرد سیستم‌های نوری و فتوسنتز و در نتیجه گسترش سطح برگ و دوام بالاتر آن و افزایش شاخص‌های رشدی مانند قطر طوقه نسبت داد. همچنین افزایش رشد طوقه آنغوزه با محلول‌پاشی کلات روی و آهن را می‌توان به افزایش رشد شعاعی طوقه و در نتیجه افزایش قطر آن نسبت داد. مشابه نتایج این پژوهش، اثر مثبت محلول‌پاشی عناصر آهن و روی بر قطر ساقه در بابونه آلمانی (Nasiri, 2011) و گیاه انیسون (Pirzad *et al.*, 2013) گزارش شده است. افزایش طول برگ آنغوزه در این پژوهش در اثر محلول‌پاشی کلات آهن و روی (جدول ۵) را می‌توان به بهبود فتوسنتز و افزایش تولید مواد فتوسنتزی و در نتیجه افزایش تقسیم سلولی و طویل شدن سلول‌ها نسبت داد. به‌عنوان مثال می‌توان به نقش مثبت آهن در تولید رنگدانه‌های فتوسنتزی و نمو کلروپلاست و در نتیجه افزایش فتوسنتز و تولید کربوهیدرات‌ها نسبت داد که شرایط بهتری را برای رشد و نمو گیاه فراهم می‌کند (Miransari *et al.*, 2014). همچنین عنصر روی نیز با تأثیر بر تقسیم سلولی باعث طویل شدن سلول‌ها شده و از طریق بهبود رشد ریشه و افزایش فراهمی آب در دسترس گیاه منجر به افزایش حجم سلول‌های تورگر و افزایش طول برگ می‌شود. در شرایط کم آب برای حفظ بقاء و جلوگیری از هدررفت رطوبت تعداد شاخه‌های جانبی و در نتیجه حجم بوته کاهش می‌یابد. مصرف عناصر میکرو از طریق افزایش فتوسنتز باعث افزایش توسعه پوشش گیاهی می‌شود. بنابراین افزایش حجم بوته با کاربرد عناصر کم‌مصرف احتمالاً مربوط اثر مثبت روی و آهن در بهبود

شرایط فتوسنتزی گیاه است. افزایش فتوسنتز باعث افزایش شاخص‌های رشدی گیاه مانند تعداد برگ و شاخه جانبی شده، بنابراین قطر گیاه و متعاقباً حجم بوته افزایش می‌یابد. مشابه نتایج حاصل از این پژوهش (شکل ۱)، گزارش شده است که محلول‌پاشی توأم آهن و روی باعث افزایش تعداد انشعابات و در نتیجه حجم بوته گیاه گشنیز گردید (Said-Al Ahl & Omer, 2009). همچنین افزایش تعداد پنجه جانبی و در نتیجه حجم بوته بابونه آلمانی با محلول‌پاشی آهن و روی نیز گزارش شده است (Nasiri, 2011).

عناصر کم مصرف روی و آهن برای تولید کلروفیل ضروری هستند و کلروفیل در سیستم‌های نوری در جذب نور و انتقال انرژی نوری به واکنش‌های شیمیایی نقش دارد. بنابراین محلول‌پاشی عناصر میکرو از طریق افزایش تولید کلروفیل و بهبود فتوسنتز گیاه و در نتیجه تولید شیره پرورده بیشتر باعث افزایش تولید شیرابه در گیاه می‌شود (Nasiri, 2011). در این پژوهش نیز کاربرد کلات آهن و روی افزایش شیرابه تولیدی آنغوزه را به همراه داشت (شکل ۲). همچنین با افزایش آبیاری تکمیلی وزن شیرابه گیاه نسبت به تیمار بدون آبیاری تکمیلی افزایش یافت (شکل ۲). افزایش شیرابه با افزایش آبیاری تکمیلی را می‌توان به وجود آب کافی و در نتیجه بیشتر شدن فتوسنتز گیاه با آبیاری تکمیلی نسبت داد که در این شرایط کانوپی گیاه نیز بیشتر شده و در اثر فتوسنتز بیشتر شیرابه بیشتری در گیاه ساخته و در نتیجه در اثر تیغ زدن، شیرابه بیشتری از گیاه تراوش می‌کند. در همین راستا Pirmoradi و همکاران (۲۰۱۶) نیز گزارش کردند که فراهمی آب کافی در طول دوره رشد گیاه آنغوزه باعث افزایش طول دوره رشدی گیاه و افزایش فتوسنتز شده، در نتیجه شیرابه و عملکرد شیرابه آنغوزه تلخ افزایش یافت.

افزایش میزان اسانس با محلول‌پاشی آهن و روی را می‌توان به افزایش فعالیت فتوسنتزی گیاه و در نتیجه بیشتر شدن تولید غده‌های ترشح کننده اسانس در برگ نسبت داد (Misra *et al*., 2005). iransari و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که محلول‌پاشی روی به تنهایی باعث کاهش معنی‌دار درصد اسانس نسبت به تیمار شاهد شد اما محلول‌پاشی روی به همراه آهن باعث افزایش معنی‌دار بازده اسانس شوید گردید. مشابه نتایج حاصل از این پژوهش (شکل ۲) افزایش بازده اسانس زیره سبز (El-Sawia & Mohamed, 2002)، بابونه آلمانی (Misra *et al*., 2005) و ریحان (Said-Al Ahl & Omer, 2009) با محلول‌پاشی توأم آهن و روی گزارش شده است. Ramezani و همکاران (۲۰۱۷) بیان کردند که محلول‌پاشی سولفات آهن و سولفات روی باعث افزایش درصد اسانس زنیان گردید. افزایش تعداد بوته‌های زنده آنغوزه در شرایط آبیاری تکمیلی در این پژوهش (جدول ۴) را می‌توان به فراهمی بیشتر آب اطراف ریشه پس از تیغ خوردن نسبت داد. زیرا با تیغ خوردن ریشه شیرابه از ریشه خارج شده و با وجود ذخیره رطوبتی بیشتر اطراف ریشه آب ازدست‌رفته در اثر تیغ خوردن جبران شده و مانع از خشک شدن ریشه می‌شود (Pirmoradi *et al*., 2016). مشابه نتایج این پژوهش (جدول ۴)، Pirmoradi و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که دو بار آبیاری در هفته باعث افزایش بقای بوته گیاه دارویی مرتعی آنغوزه تلخ در زمان تیغزنی شد. افزایش تعداد بوته‌های زنده با محلول‌پاشی توأم آهن و روی (جدول ۵) را احتمالاً می‌توان به نقش مثبت این عناصر در افزایش تولید کلروفیل برگ، بهبود فتوسنتز و انتقال شیره پرورده بیشتر به سمت اندام‌های زیرزمینی و رشد بیشتر ریشه نسبت داد، به‌طوری که با افزایش رشد ریشه میزان آب بیشتری در دسترس گیاه قرار می‌گیرد و از خشک شدن گیاه پس از تیغزنی ممانعت بعمل می‌آید.

در این پژوهش، در شرایط عدم آبیاری تکمیلی، محلول‌پاشی کلات روی و آهن افزایش محتوای منگنز اندام هوایی آنغوزه را در پی داشت (شکل ۳). محلول‌پاشی روی باعث افزایش رشد و فعالیت‌های متابولیکی و موجب افزایش شدت فتوسنتز و توسعه رشد ریشه شده، در نتیجه میزان جذب عناصر غذایی و غلظت عناصر در گیاه افزایش می‌یابد (Asgari Lajayer *et al*., 2014). Rejali و Sajedi (۲۰۱۱) گزارش کردند که محلول‌پاشی روی باعث افزایش

منگنز اندام هوایی ذرت گردید. همچنین Burbori و Tehrani (۲۰۱۱) نیز گزارش کردند که کاربرد توأم عناصر میکرو (آهن و منگنز) باعث افزایش منگنز اندام هوایی گندم شد. البته افزایش محتوای منگنز اندام هوایی مرزه با محلول‌پاشی روی نیز گزارش شده است (Asgari Lajayer *et al.*, 2014). مشابه نتایج این پژوهش (شکل ۳) نیز گزارش شد که غلظت منگنز اندام هوایی سیاه‌دانه با محلول‌پاشی توأم آهن و روی افزایش یافت (Ali *et al.*, 2003). کاهش محتوای مس اندام هوایی با محلول‌پاشی عناصر آهن و روی (شکل ۴) احتمالاً به‌دلیل رقابت بر سر جایگاه‌های جذب یکسان (Yadegari, 2013) و برهم‌کنش منفی بین این عناصر است. البته کاهش غلظت مس اندام هوایی گندم و ذرت با محلول‌پاشی آهن نیز گزارش شده است (Ali *et al.*, 2003). همچنین در پژوهشی نیز اثر منفی روی بر جذب مس در گیاه دارویی بالنگوی شهری گزارش شده است (Asgari Lajayer *et al.*, 2016). اما در پژوهشی با عنوان تأثیر کاربرد مس و روی بر غلظت و جذب عناصر غذایی کم‌مصرف (مس، روی، آهن و منگنز) و پرمصرف (فسفر) در گیاه دارویی مرزه، بیان شد که سطوح پایین روی باعث افزایش غلظت و جذب مس اندام هوایی و ریشه گیاه دارویی مرزه شد اما با کاربرد غلظت‌های بالای روی، میزان مس اندام هوایی کاهش یافت (Asgari Lajayer *et al.*, 2014). مشابه نتایج حاصل از این پژوهش، Nasiri (۲۰۱۱) نیز گزارش کرد که محلول‌پاشی آهن و روی باعث افزایش محتوای روی اندام هوایی سیاهدانه نسبت به تیمار شاهد شد. احتمالاً محلول‌پاشی از دو طریق جذب سریع عنصر روی و نیز افزایش ترشح مواد قندی به محلول خاک و در نتیجه بهبود فعالیت میکروارگانیسم‌ها در ریزوسفر باعث افزایش جذب این عنصر و افزایش غلظت روی در گیاه گردید (Ayoubizadeh *et al.*, 2018). همچنین محلول‌پاشی روی با بهبود رشد گیاه و بهبود تولید مواد فتوسنتزی و انتقال بیشتر مواد فتوسنتزی به ریشه باعث افزایش رشد ریشه شده، در نتیجه میزان جذب عناصر غذایی و متعاقباً افزایش غلظت این عناصر در گیاه شده است (Ayoubizadeh *et al.*, 2018).

محلول‌پاشی باعث رفع سریع کمبود عناصر غذایی شده و منجر به افزایش غلظت این عناصر در بافت‌های گیاهی می‌شود. از آنجایی که آهن برای ساخت کلروفیل ضروری است، محلول‌پاشی آهن باعث افزایش تولید کلروفیل و در نتیجه افزایش تولید شیره پرورده در گیاه می‌شود، در این شرایط گیاه مواد پرورده بیشتری را به ریشه منتقل کرده و باعث افزایش رشد ریشه می‌شود. در این شرایط نیز موجب جذب عناصر مانند آهن می‌شود. مشابه نتایج این پژوهش (جدول ۵)، گزارش شد که محلول‌پاشی آهن و ترکیب آهن و روی باعث افزایش جذب آهن در گیاه دارویی سیاهدانه (Mousa *et al.*, 2003) و نیز انیسون (Pirzad *et al.*, 2013) گردید. Kharazmi و همکاران (۲۰۲۱) نیز گزارش کردند که محلول‌پاشی آهن باعث افزایش معنی‌دار محتوای آهن اندام هوایی گیاه دارویی پونه آبی شد.

## منابع مورد استفاده

- Ali, E., Mousa, Sh. and El-Sallami, I.H., 2003. Response of *Nigella sativa* L. to foliar application of gibberellic acid, benzyladenine, iron and zinc. Assist Journal of Agricultural of Science, 32: 141-156.
- Amalraj, A. and Gopi, S., 2017. Biological activities and medicinal properties of Asafoetida: A review. Journal of Traditional and Complementary Medicine, 7(3): 347-359.
- Asgari Lajayer, H., Motasharizadeh, B., Sawaqbi Firoozabadi, Gh.R. and Hadian, J., 2016. Evaluation of trends in mineral nutrition uptake in balangu (*Lallemantia iberica*) under different copper and zinc application rates. Iranian Journal of Soil and Water Research, 46(4): 791-799.
- Asgari Lajayer, H., Motasharizadeh, B., Sawaqbi Firoozabadi, Gh.R. and Hadian, J., 2014. Effect of copper and zinc on concentration and uptake of micronutrient (Cu, Zn, Fe and Mn) and macronutrient (Phosphorus) in savory at greenhouse conditions. Journal of Soil and Plant Interactions, 5(3): 95-112.
- Asgarirad, H., Pourmorad, F., Hosseinimehr, S., Saeidnia, J., Ebrahimzadeh, S. and Lotfi, F., 2010. In vitro antioxidant analysis of *Achillea tenuifolia*. African Journal of Biotechnology, 9(24): 3536-3541.
- Ayoubizadeh, N., laei, G., Amini Dehaghi, M., Masoud Sinaki, J. and Rezvan, S., 2018. Seed yield and fatty acids composition o f sesame genotypes as

soil phosphorus deficiency. Iranian Journal of Soil and Water Research, 51(1): 135-149.
- Kheiri, A., Veisi, M. and Sanikhani, M., 2017. Effect of micro-elements of Fe, Zn and Mn on some characteristics of Borage (*Borago officinalis* L.). Journal of Plant Ecophysiology, 29: 183-194.
- Kheyrkhah, M., Janmohammadi, M., Abbasi, A. and Sabaghnia, N., 2018. The effect of micronutrients (Fe and Zn) and beneficial nano-scaled elements (Si and Ti) on some morpho-physiological characteristics of oilseed rape hybrids. Agriculture, 64(3): 116-127.
- Khoshgoftar-Manesh, A.H., 2008. Principles of Plant Nutrition. Isfahan University of Technology Publications, Isfahan, 542p.
- Kobraeei, S. and Shamsi, K., 2013. Impact of micronutrients foliar application on soybean yield and its components under water deficit condition. Journal of Biodiversity and Environmental Sciences, 3(2): 39-45.
- Miransari, H., Mehrafarin, A. and Naghdi Badi, H., 2014. Morphophysiological and phytochemical responses of dill (*Anethum graveolens* L.) to foliar application of iron sulfate and zinc sulfate. Journal of Medicinal Plants, 14(54): 15-32.
- Misra, A., Srivastava, A.K., Srivastava, N.K. and Khan, A., 2005. Zn-acquisition and its role in growth, photosynthesis, photosynthetic pigments and biochemical changes in essential monoterpene oil(s) of *Pelargonium graveolens*. Photosynthetica, 43(1): 153-155.
- Moghaddam, M. and Farhadi, N., 2015. Influence of environmental and genetic factors on resin yield, essential oil content and chemical composition of *Ferula assa-foetida* L. populations. Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants, 2(3): 69-76.
- Najafi, F. and Rezvani Moghadam, P., 2002. The effect of different irrigation and density regimes on yield and agronomic characteristics of *Plantago ovata*. Journal of Agricultural Science and Technology, 16(2): 59-65.
- Nasiri, Y., 2011. The effect of foliar application of iron and zinc at different times on the yield and production of essential oil of german chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). Ph.D. thesis, Agriculture, University of Tabriz.
- Omidbaigi, R., Pirmoradi, M.R. and Karimzadeh, G.H., 2005. Effects of different methods of root incision on the yield and survival of asafetida (*Ferula assa-foetida* L.). Iranian Journal of Natural Resources, 57(4): 191-198.
- Petropoulos, S.A., Dimitra, D., Polissiou, M.G. and Passam, H.C., 2008. The effect of water deficit stress on the growth, yield and composition of affected by foliar application of iron nano chelate and fulvic acid under drought stress. Applied Ecology and Environmental Research, 16(6): 7585-7604.
- Bahreininejad, B., Razmjoo, J. and Mirza, M., 2013. Influence of water stress on morpho-physiological and phytochemical traits in *Thymus daenensis*. International Journal of Plant Production, 7(1): 151-166.
- Bandyopadhyay, D., Basak, B., Chatterjee, A., Lai, T.K., Banerji, A., Banerji, J., Neuman, A. and Prangé, T., 2006. Saradaferin, a new sesquiterpenoid coumarin from *Ferula assa foetida*. Natural production Research, 20(10): 961-965.
- Behdani, M.A. and Mousavifar, B., 2012. Effect of low irrigation on remobilization and dry weight of plant of three genus of spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Journal of Agroecology, 3(3): 277-289.
- Burbori, M.R. and Tehrani, M.M., 2011. A study of the effects of iron and manganese application on quantity and quality characteristics of wheat (*Triticum aestivum* L.). Crop Physiology Journal, 3(9): 63-77.
- Diallo, A.T., Samb, P.I. and Roy-Macauley, H., 2001. Water status and stomatal behavior of cowpea, *Vigna unguiculata* (L.) Walp, plants inoculated with two *Glomus* species at low soil moisture levels. European Journal of Soil Biology, 37(3): 187-196.
- El-Sawia, S.A. and Mohamed, M.A., 2002. Cumin herb as a new source of essential oils and its response to foliar spray with some micro-elements. Food Chemistry, 77: 75-80.
- Ghorbanpour, M., Asgari Lajayer, H. and Hadian, J., 2016. Influence of copper and zinc on growth, metal accumulation and chemical composition of essential oils in Sweet Basil (*Ocimum basilicum* L.). Journal of Medicinal Plants, 15(59): 132-144.
- Jazizadeh, A. and Mortezaei Nejad, F., 2018. Effects of water stress on morphological and physiological indices of *Cichorium intybus* L. for introduction in urban landscapes. Journal of Plant Process and Function, 6(21): 279-290.
- Khajeh, M., Yamini, Y. and Shariati, S., 2010. Comparison of essential oils compositions of *Nepeta persica* obtained by supercritical carbon dioxide extraction and steam distillation methods. Food and Bioproducts Processing, 88: 227-232.
- Khalid, K.A., 2006. Influence of water stress on growth, essential oil and chemical composition of herbs (*Ocimum* sp.). International Agrophysics, 20(4): 289-296.
- Kharazmi, M., Mohammadkhani, N. and Servati, M., 2021. Influence of leaf nutrition of some micronutrients on absorption of *Mentha* plant under

activity of *Bunium persicum*. Turkish Journal of Botany, 37(5): 930-939.
- Said-Al Ahl, H.A.H. and Omer, E.A., 2009. Effect of spraying with zinc and/ or iron on growth and chemical composition of coriander (*Coriandrum sativum* L.) harvested at three stages of development. Journal of Medicinal Food Plants, 1: 30-46.
- Shahbazi, K. and Besharati, H., 2013. Overview of the fertility status of agricultural soils in Iran. Journal of Land Management, 1(1): 1-15.
- Sharafzadeh, S.H. and Zare, M., 2011. Effect of drought stress on qualitative and quantitative characteristics of some medicinal plants from Lamiaceae family. Advances in Environmental Biology, 5(8): 2058-2062.
- Sodaeizadeh, H. and Mansouri, F., 2014. Effect of drought stress on dry matter accumulation, nutrient concentrations and soluble carbohydrate of *Salvia macrosiphon* as a medicinal plant. Arid Biom Scientific and Research Journal, 4(1): 1-8.
- Sodaeizadeh, H., Shamsai, M., Tajmalian, M., Mir Mohammadi Meybodi, S.A.M. and Hakimzadeh, M.A., 2016. The effect of drought stress on some morphological and physiological traits of *Satureja hortensis*. Plant Process and Function, 5(15): 1-11.
- Wang, W., Vinocur, B. and Altman, A., 2003. Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. Planta, 218: 1-14.
- Yadegari, M., 2013. Effect of foliar application of Fe, Zn, Cu and Mn on yield and essential oils of *Borago officinalis*. Journal of Applied Science and Agriculture, 8(5): 568-575.
essential oils of parsley. Scientia Horticulturae, 115: 393-397.
- Pinto, A., Mota, M. and Varennes, A., 2005. Influence of organic matter on the uptake of zinc, copper and iron by Sorghum plants. Science of The Total Environment, 326: 239-247.
- Pirmoradi, M., Moghadam, M. and Yazdani, N., 2016. The effect of different irrigation treatments on resin yield, essential oil content, morphological traits and survival of bitter asafetida (*Ferula assa-foetida* L.). Iranian Journal of Natural Resources, Rangeland and Watershed Management, 68: 25-341.
- Pirzad, A.R., Tusi, P. and Darvishzadeh, R., 2013. Effect of Fe and Zn foliar application on plant characteristics and essential oil (*Pimpinella anisum* L.). Iranian Journal of Crop Sciences, 15(1): 12-23.
- Ramezani, M.R., Seghatol-Eslami, M.H., Sayari, Z.V. and Mousavi, S.Gh., 2017. Effect of salinity and foliar application of Zn and Fe on yield and morphological and quality traits of *Carum copticum*. Journal of Environmental Stresses in Crop Sciences, 10(4): 595-604.
- Reddy, A.R., Chaitanya, K.V. and Vivekanandan, M., 2004. Drought induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. Journal of Plant Physiology, 161(11): 1189-1202.
- Rejali, F. and Sajedi, N.A., 2011. The effect of drought stress, zinc application and mycorrhizal inoculation on the uptake of trace elements in maize. Iranian Journal of Soil Research, 25: 83-93.
- Saeidnejad, A.H., Kafi, K.M., Khazaei, H.R. and Pessarakli, M., 2013. Effects of drought stress on quantitative and qualitative yield and antioxidative

# Effects of iron and zinc chelates foliar application on growth characteristics, essential oil content, and asafetida of *Ferula assa-foetida* L. under supplementary irrigation conditions

**A. Alikhani[1], A. Rahimi[2], M. Shamsaddin Saied[3*], S.R. Sahafi[2] and M.R. Pirmoradi[4]**

1- M.Sc. student, Department of Plant Production and Genetics, Valiasr University of Rafsanjan, Iran
2- Department of Plant Production and Genetics, Valiasr University, Rafsanjan, Iran
3*- Corresponding author, Department of Plant Productions, Agricultural Faculty of Bardsir, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran, E-mail: mohadesehsaid2014@uk.ac.ir
4- Department of Horticulture, Valiasr University, Rafsanjan, Iran

Received: March 2021 Revised: August 2021 Accepted: August 2021

## Abstract

To study the effects of different levels of iron and zinc chelates application and supplementary irrigation on the quantity and quality of *Ferula assa-foetida* L. asafetida, a factorial experiment was conducted in a randomized complete block design with three replications in Neyriz City (Fars province) in 2018. The experimental treatments included the supplementary irrigation (no irrigation (control), once, and twice irrigation) and zinc and iron chelates foliar application (no foliar application (control), Zn (two per thousand) foliar application, Fe (two per thousand) foliar application, and combined Fe (1.5 per thousand) and Zn (1.5 per thousand) foliar application). The studied traits included the number of leaves, leaf length, crown diameter, aerial parts dry weight, plant survival percentage, concentration of elements Fe, Mn, Cu, and Zn in the aerial parts, asafetida weight, and essential oil content. The results showed that the supplementary irrigation increased the number of leaves, aerial parts dry weight, and survival percentage of the plant. Twice supplementary irrigation resulted in the highest aerial parts Fe content. Also, the iron and zinc chelates foliar application increased the leaf length and survival percentage of the plant compared to the control. The highest aerial parts Fe content was obtained by iron chelate foliar application. Under both supplementary and control irrigation conditions, the zinc and iron chelates foliar application significantly increased the plant volume by 1.5 times, asafetida weight by 2 to 2.8 times, and essential oil content by 0.6 to 0.9%. In addition, under no supplementary irrigation conditions, the highest aerial parts Mn content of the plant was obtained by zinc chelate foliar application as well as combined iron and zinc chelates foliar application, but under once and twice supplementary irrigation conditions, the foliar application had no significant effect on this parameter. Under both supplementary and control irrigation conditions, the highest aerial parts Cu content of the plant was observed in no foliar application treatment. The Zn foliar application caused the highest aerial parts Zn content of the plant. Therefore, it seems that the supplementary irrigation with the foliar application of iron and zinc chelates could increase the asafetida yield and essential oil content in *F. assa-foetida* by improving the growth characteristics.

**Keywords:** *Ferula assa-foetida* L., survival percentage, essential oil yield.