مجله علوم و فنون باغبانی ایران جلد ۲۴ شماره ۳ صفحه‌های ۳۸۷ تا ۴۰۲ (۱۴۰۲)
مقاله پژوهشی

پاسخ های فیزیولوژیک و فتوسنتزی درختان چنار (*Platanus orientalis* L.) به تزریق تنه با ترکیبات آهن و عصاره جلبک دریایی (*Ascophyllum nodosum*) در شرایط تنش‌زای تابستان در اصفهان

The Physiological and Photosynthetic Responses of Plane Trees (*Platanus orientalis* L.) to Trunk Injection with Iron Compounds and Seaweed Extract (*Ascophyllum nodosum*) Under Summer Stressful Conditions in Isfahan

قاسم اخبارفر، علی نیکبخت* و نعمت الله اعتمادی
گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
نویسنده مسئول، پست الکترونیک: (anikbakht@cc.iut.ac.ir)
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۱۵، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۲/۱۹

چکیده

زردبرگی و خزان زودرس سبب اختلال در رشد درختان چنار فضای سبز شهرهای ایران شده است. آزمایش حاضر با هدف مطالعه تاثیر درون درمانی با سیستم کم فشار شرکت فرت اینجکت با منابع آهن و عصاره جلبک دریایی در کاهش زردبرگی درختان چنار در مقایسه با کاربرد خاکی سکوسترون آهن در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار، اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل تزریق ترکیب آمینوکلات، گلوکونات، سیترات و سولفات آهن با عصاره جلبک دریایی در مقایسه با کاربرد خاکی سکوسترون آهن و شاهد بود. محتوی کلروفیل، آهن برگ، نسبت Fv/Fm، محتوای آب نسبی برگ، دی اکسید کربن اتاقک روزنه، فتوسنتز، سرعت تعرق، کارایی مصرف آب و کیفیت ظاهری درختان ارزیابی شد. ترکیب آمینو کلات آهن ۴٪+ عصاره جلبک ۲٪ و گلوکونات آهن ۴٪+ عصاره جلبک دریایی ۲٪ در مقایسه با سایر تیمارها سبب بیش‌ترین افزایش معنی‌دار کلروفیل برگی، مقدار آهن، محتوی آب نسبی برگ، فلورسانس کلروفیل، کیفیت ظاهری و بهبود پارامترهای فتوسنتزی درخت شد. به‌طور کلی، تزریق ترکیب آهن و عصاره جلبک به دلیل اثر آهن در سنتز کلروفیل و تحریک رشد توسط عصاره جلبک دریایی مفید بود.

واژه های کلیدی: آهن، تزریق تنه، عصاره جلبک دریایی، زرد برگی.

مقدمه

پارک‌ها و فضای سبز شهری علاوه بر فراهم آوردن محیطی زیبا، بر سلامت روانی شهروندان به خصوص در کلان‌شهرها موثر هستند. درختان از عناصر پایدار فضاهای سبز شهری می‌باشند. بنابراین، به‌دلیل عمر زیاد در انتخاب نوع گونه، شرایط کاشت و نگهداری آن‌ها باید نهایت دقت را داشت. درختان چنار ایران عمدتاً از نوع چنار شرقی (*Platanus orientalis* L.) و از خانواده Platanaceae است که دارای قدمت بالایی در فضای سبز کلان‌شهرهای ایران بوده که با شرایط آب و هوایی ایران سازگار شده است (Aalipour *et al*., 2019; Alipour *et al*., 2016). درختان چنار با تنه مستقل و تاج زیبا و برگ‌های پنجه‌ای، از درختان خزان‌کننده و سایه‌دار تابستان‌های گرم شهرهای ایران است (Alipour *et al*., 2016; Khoshgoftarmanesh *et al*., 2016). برگ‌های کرک‌دار این درختان با جذب گرد و غبار به کاهش آلودگی هوای کلان‌شهرها کمک می‌کند و ریشه‌های عمیق و گسترده درختان چنار از فرسایش خاک جلوگیری می‌کنند. اقلیم مناسب برای بهترین رشد درخت چنار، هوای معتدل و کمی سرد و مرطوب مانند کنار جوی آب است (Lakzian *et al*., 2013). وجود درختان کهنسال چنار در نقاط مختلف ایران از جمله شیراز، تهران، اصفهان، محلات، خرم‌آباد و کرمان، بیانگر آن است که حضور این درختان در فضای سبز شهری و یا در طبیعت

ایران قدمت و پیشینه بالایی دارد (Alipour *et al*., 2016). خشکسالی و افزایش دما در قالب تغییر اقلیم طی چند سال گذشته سبب کاهش وضعیت رشدی درخت چنار و کیفیت ظاهری آن شده است. زرد برگی یا کلروز برگی و خزان زودهنگام در تابستان، از عارضه‌های فیزیولوژیکی بسیار مهم درختان چنار در شهرهای ایران است که به دلایل گوناگون مانند تنش‌های محیطی، اختلالات تغذیه‌ای، افزایش آلودگی هوای کلان‌شهرها، حمله آفات و بیماری‌ها، تراکم بالای درختان و تغییرات گسترده اقلیمی، اتفاق می‌افتد (Nikbakht *et al*., 2022). اختلالات تغذیه‌ای ناشی از تنش‌های محیطی مانند خشکی، خاک‌های قلیایی و کاهش کیفیت آب آبیاری، سبب عدم جذب کافی یا اختلال در جذب عناصر ضروری گیاه برای ساخت کلروفیل می‌شود (Öncel *et al*., 2000). از عناصر ضروری که در تشکیل کلروفیل نقش دارند می‌توان به آهن، روی و منیزیم اشاره کرد، اما بیش‌تر مطالعات انجام شده کمبود عنصر آهن را عامل اصلی کلروز برگی گزارش کرده‌اند (Nikbakht *et al*., 2022; Lakzian *et al*., 2013).

عنصر آهن در گیاهان در سنتز کلروفیل اهمیت داشته و موجب حفظ ساختار و بهبود عملکرد کلروپلاست و فتوسنتز می‌شود. همچنین، آهن علاوه بر سنتز کلروفیل و فتوسنتز در فعال‌سازی آنزیم و انتقال الکترون به‌عنوان کوفاکتور فعالیت دارد (Barker and Pilbeam, 2015). کلروزِ برگی ناشی از کمبود آهن با علائمی همچون رنگ پریدگی بین رگبرگی برگ‌های جوان ظاهر می‌شود که در ادامه در اثر عدم تشکیل کلروفیل کافی، کارکرد فتوسنتز دچار اختلال شده و در نتیجه رشد کاهش یافته و در حالت شدیدتر، رشد گیاه متوقف می‌شود (Anderson, 1982; Mirsoleimani and Tafazoli, 2006). البته یاد آوری می‌شود که کلروز برگی به ندرت در اثر کمبود مطلق عنصر آهن در خاک به وجود می‌آید، بلکه این عارضه فیزیولوژیکی در اثر شرایط شیمیایی خاک (قلیایی و آهکی بودن) که سبب می‌شود آهن موجود درخاک به صورت نامحلول در آمده و غیر قابل جذب برای گیاه باشد، به وجود می‌آید (Khoshgoftarmanesh *et al*., 2016; Nikbakht *et al*., 2022).

از سوی دیگر، در اسیدیته استانداردِ آپوپلاست (۵/۶-۵) در آوند چوبی، بیکربنات وجود ندارد در صورتی که در گیاهان چوبی رشد کرده در محیط‌های آهکی غلظت نسبتاً بالایی از بیکربنات در شیره آوند چوبی مشاهده شده است که می‌تواند آهن کارا (Fe^{2+}) را به آهن غیر کارا (Fe^{3+}) برای فتوسنتز، تبدیل کند (Asadollahzade *et al*., 2018). در مرکز و جنوب ایران، درختان فضای سبز مانند چنار و اقاقیا، به شدت تحت تاثیر کلروز شدید آهن قرار می‌گیرند (Aalipour *et al*., 2019; Hosseinifarahi *et al*., 2010). بنابراین، مطالعات زیادی برای تعیین مناسب‌ترین روش مصرف کود برای رفع کمبود آهن انجام شده اما تاکنون ابهام در انتخاب روشی که از نظر اقتصادی و در شرایط خاک‌های آهکی مناسب‌تر از همه باشد، حل نشده است (Lakzian *et al*., 2013; Hosseinifarahi *et al*., 2010; Fernández-Escobar *et al*., 1993). برای مثال، محلول‌پاشی برگی درختان بلند، عملاً غیر ممکن بوده و حجم وسیع خاک با وضعیت شیمی نامناسب اطراف ریشه درختان بزرگ، روش کاربرد خاکی کوددهی را کم اثر و پرهزینه می‌کند (Wallace and Wallace, 1986).

از روش‌های نوین که برای تغذیه و کنترل آفات و بیماری‌ها در سطح جهانی استفاده می‌شود، درون‌درمانی (تزریق عناصر غذایی به تنه) است. در این روش، حجم کم‌تری از عناصر غذایی به صورت محلول با کم‌ترین آسیب زیست محیطی، به کار رفته و تمام محلول وارد گیاه می‌شود. از مزایای این روش سرعت بالای کار و ایمن بودن آن و عدم نیاز به تجهیزات خاص است که در شرایط نامناسب وضعیت خاک، برای تغذیه درختان به کار می‌رود (Nikbakht *et al*., 2022; Fernández-Escobar *et al*., 1993). مطالعات زیادی در رابطه به کاربرد درون‌درمانی و تغذیه درختان وجود دارد که می‌توان به تزریق منابع مختلف آهن به تنه درختان زیتون و هلو اشاره نمود که تیمارهای مورد استفاده در مقایسه با تیمار شاهد، شاخص کلروفیل برگی را به طور معنی‌داری افزایش دادند. در این آزمایش تیمار سولفات آهن در مقایسه با تیمارهای دیگر بیش‌ترین کلروفیل برگی را نشان داد (Fernández-Escobar *et al*., 1993). در مطالعه‌ای دیگر با موضوع تغذیه درخت خرما مشخص شد که تزریق سولفات آهن در تنه نسبت به کاربرد خاکی مقدار عملکرد میوه را افزایش داد (Saleh, 2008). در راستای مطالعه حاضر، Nikbakht و همکاران در سال ۱۴۰۱ گزارش کردند استفاده از منابع آهن به روش تزریق تنه با استفاده از سیستم کم فشار برای تغذیه درختان چنار فضای سبز اصفهان نشان داد که در شرایط خاک‌های قلیایی و گرمای تابستان اصفهان که چنارهای فضای سبز دچار کلروز شدید و خزان زود رس می‌شوند، تزریق منابع آهن در مقایسه با شاهد سبب بهبود وضعیت کلروفیل برگی و صفات رشدی شد. همچنین در بین منابع آهن، آمینو کلات آهن در مقایسه با سایر منابع بیش‌ترین تاثیر مثبت را بر بهبود درختان چنار دارای کلروز نشان داد (Nikbakht *et al*., 2022). علاوه بر منابع آهن، به نظر می‌رسد که عصاره جلبک دریایی به دلیل داشتن مقدار کافی از عناصر

غذایی ضروری برای گیاه و همچنین دارا بودن مقادیر مناسبی از تنظیم‌کننده‌های رشد (سایتوکینین‌ها و جیبرلیک اسید) می‌تواند سبب تحریک سنتز کلروفیل، بهبود رشد و تحریک پاسخ دفاعی تنش‌های محیطی شده و برای کنترل کلروز برگی چنار مفید باشد. با توجه به محدود بودن مستندات پیرامون کاربرد منابع مختلف آهن به تنهایی یا در ترکیب با عصاره جلبک دریایی به روش تزریق تنه در تغذیه درختان چنار، این آزمایش با هدف بررسی دقیق تاثیر منابع آهن در ترکیب با عصاره جلبک دریایی در مقایسه با کاربرد خاکی سکوسترون آهن در کنترل کلروز برگی و تغذیه درختان چنار طرح‌ریزی و به اجرا در آمد.

مواد و روش‌ها

مطالعه حاضر با هدف بررسی تأثیر تزریق منابع آهن آمینو کلات آهن (ساخت شرکت زیفان)، گلوکونات آهن (ساخت شرکت SIGMA Aldrich)، سولفات آهن و سیترات آهن (ساخت شرکت Merck /آلمان) به تنهایی یا در ترکیب با غلظت‌های مختلف عصاره جلبک دریایی در مقایسه با کاربرد خاکی سکوسترون آهن (ساخت شرکت Syngenta) برای بهبود رشد درختان چنار در تابستان سال ۱۳۹۸ در مزرعه آموزشی-پژوهشی لورک دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان با مشخصات جغرافیایی ۵۱ درجه و ۵۳ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۷۱ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۶۱۰ متر از سطح دریا اجرا شد.

برای انجام آزمایش تعداد ۱۶۲ اصله درخت چنار با شرایط سنی و نگهداری مشابه انتخاب شدند. ویژگی‌های خاک مکان اجرای آزمایش در جدول ۱ ارئه شده است. اعمال تیمارها پس از ایجاد سوراخ با قطر ۶ میلی‌متر و تا عمق ۵ سانتی‌متری در یک متری پایین تنه با استفاده از نصب کپسول‌های حاوی تیمارهای آزمایشی با فشار ۸۰-۶۰ کیلو بار به وسیله رابط‌های پلاستیکی داخل سوراخ‌های ایجاد شده روی تنه و تزریق درون آوند چوبی انجام شد. کپسول درون‌درمانی مورد استفاده ساخت شرکت فرت اینجکت اسپانیا بود که از نماینده آن، شرکت فرین کشت تابان (فرکشت) مستقر در شهرک علمی و تحقیقاتی اصفهان تهیه شد. آزمایش حاضر به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار به اجرا در آمد که تیمارها شامل ترکیب غلظت‌های صفر، ۲ و ۴٪ منابع آهن با غلظت‌های صفر و ۲٪ عصاره جلبک دریایی و تیمار خاکی ۳۰ گرم سکوسترون آهن بود. زمان انجام تیمارها در اوایل اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۸ بود. حجم محلول تزریقی هر کپسول ۱۲۰ میلی‌لیتر و برای کلیه تیمارهای تزریق تنه یا درون‌درمانی ثابت بود و به هر درخت سه کپسول تزریق شد. تیمار شاهد شامل سه کپسول ۱۲۰ میلی‌لیتری آب مقطر بود. تیمار کاربرد خاکی سکوسترون آهن شامل ۳۰ گرم از پودر سکوسترون آهن در تشتک آبیاری درخت و سپس آبیاری درخت همزمان با درختان دیگر بود. کلیه عملیات نگهداری درختان از جمله مراقبت‌های زراعی به صورت یکسان و مشابه برای تمام درختان تیمار شده اعمال شد. نمونه‌برداری برای بررسی شاخص‌های آزمایش ۷۵ روز پس از اعمال تیمار درون‌درمانی یا تزریق تنه با بروز علائم کلروز و خزان زودرس در گرمای نیمه دوم تیرماه از برگ‌های رشد کرده سال جاری انجام شد.

شاخص های اندازه‌گیری شده در آزمایش

محتوی کلروفیل a، b و کلروفیل کل

برای اندازه‌گیری میزان غلظت کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل ۰/۲ گرم بافت تازه برگ که مخلوطی از بافت برگی اطراف درخت و از قسمت‌های وسط شاخه‌ها نمونه‌برداری شده وزن کرده و در هاون چینی با ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد به نحوی ساییده شد که بافت سبز برگ تبدیل به بافت سفید رنگ شود و سبزینگی برگ در استون کاملاً حل شود. سپس عصاره به‌دست آمده جهت خالص‌سازی سانترفیوژ شدند. فاز محلول سبز رنگ فوقانی برای اندازه‌گیری محتوی کلروفیل به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل Shimadzu UV-160A ساخت ژاپن) در طول موج‌های ۶۴۵، ۴۷۰ و ۶۶۳ نانومتر استفاده شد (Arnon, 1949).

معادله 1. $Chlorophyll\ a = \{12.7(A663) - 2.69(A\ 645)\} \times V/W \times 1000\}$

معادله 2. $Chlorophyll\ b = \{22/9(A645) - 4/68(A663)\} \times V/W \times 1000\}$

معادله 3. $Chlorophyll\ total = \{20/2(A645) - 8/02(A663)\} \times V/W \times 1000\}$

A بیانگر مقدار جذب در طول موج مورد نظر، V حجم نهایی کلروفیل در استون ۸۰ ٪ و W وزن تر نمونه بر حسب گرم است.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک محل انجام آزمایش.

Table1. Physico-chemical characteristic of soil in the experiment.

نوع ساختار خاک Soil textur	sand-loam-clay soil
Volumetric moisture at field capacity (%) رطوبت حجمی در شرایط ظرفیت مزرعه(٪)	28.6
Volumetric moisture at the wilting point (%) رطوبت حجمی در نقطه پژمردگی(٪)	13.1
Soil acidity اسیدیته خاک	7.6
Electrical conductivity of soil saturated extract (ECe) هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک	2.71
Organic materials (%) مواد آلی (٪)	1.61
Lime آهک	33.5
Nitrogen (%) نیتروژن(٪)	0.367
Absorbable phosphorus (mg/kg soil) فسفر قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک)	50.2
Absorbable potassium (mg/kg soil) پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلو رم خاک)	131.1
Iron (mg/kg soil) آهن (میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک)	20.08
Zinc (mg/kg soil) روی (میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک)	18.3

نسبتFv/Fm (کلروفیل فلورسانس)

شاخص کلروفیل فلورسانس Fv/Fm با استفاده از دستگاه سنجش فلورسانس کلروفیل‌دستی مدل (Handytech instrument) در روز آفتابی و در ساعات بین ۹ تا ۱۱ صبح انجام شد.

محتوی آهن برگی

اندازه‌گیری مقدار عنصر آهن با روش خاکسترگیری خشک و با استفاده از دستگاه جذب اتمی انجام شد. ابتدا یک گرم از بافت برگی خشک شده در آون ۷۰ درجه سانتی را آسیاب شد و پس از عبور از مش شماره ۴۰ به مدت ۲ ساعت در کوره الکتریکی تحت حرارت ۵۵۰ درجه سلسیوس قرار داده شد تا کاملاً خاکستر شود و به هر نمونه خاکستر ۵ میلی‌لیتر اسیدکلریدریک ۲ نرمال اضافه شد و حرارت داده شد تا خاکستر در اسید حل شود. در ادامه محلول حاوی اسید و خاکستر از کاغذ صافی واتمن عبور داده شد و عصاره جمع شده با آب مقطر به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر افزایش یافت. مقدار آهن محلول هر نمونه به‌وسیله دستگاه جذب اتمی[۱] (مدل Perkin Elmer AA3030) قرائت شد (Page *et al*., 1986).

محتوای نسبی آب برگ

اندازه‌گیری محتوی نسبی آب برگ به روش Cherki و همکاران انجام شد (Ghoulam *et al*., 2002). در این روش قطعات برگی دیسکی شکل جداشده از برگ ابتدا با ترازوی حساس توزین و وزن آن‌ها به عنوان وزن تازه (FW) ثبت شد. سپس نمونه‌های برگی به مدت ۲۴ ساعت درون لوله‌های آزمایش حاوی آب مقطر قرار گرفت. سپس وزن نمونه‌ها به‌عنوان وزن تورژسانس (TW) ثبت شد. در مرحله بعد نمونه‌های برگی به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس درون آون خشک شد و وزن نمونه‌ها

۱- Atomice absorbation

در این مرحله به‌عنوان وزن خشک (DW) ثبت شد. در نهایت با استفاده از وزن‌های ثبت شده در هر مرحله، شاخص محتوای نسبی آب برگ (برحسب درصد) با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

معادله 4. $RWC = \{(FW - DW1) / (TW - DW2) * 100\}$

RWC بیانگر محتوی نسبی آب برگ، FW بیانگر وزن تازه برگ، DW1 بیانگر وزن خشک اولیه، TW وزن بافت برگ اشباع و DW2 بیانگر وزن خشک پس از اشباع بافت برگ.

شاخص کیفیت ظاهری

ارزیابی کیفیت درختان پس از اعمال تیمارها بر اساس روش ارائه شده توسط Niu و همکاران، ۲۰۰۷ انجام شد (Niu *et al.*, 2007). هنگام نمونه‌گیری از درختان پس از اعمال تیمارها به وسیله داوران که اطلاعی از نوع تیمارها ندارند بسته به میزان سبزینگی و سلامت هر درخت یک امتیاز از عدد ۱ تا ۱۰ داده شد. در این روش عدد کمتر نشانه درختان دارای برگ‌های زرد و شاخه‌های سرخشکیده و عدد بالاتر نشانگر درختان با برگ‌های سبز و سالم و شاخه‌های سالم بود.

پارامترهای فتوسنتزی (مقدار دی اکسید کربن[۱]، فتوسنتز[۲]، تعرق[۳] و کارایی نسبی آب برگ[۴])

اندازه‌گیری پارامترهای فتوسنتزی توسط دستگاه تبادلات گازی (Ultra Compact (LCi) photosynthesis measurement system., UK) اندازه‌گیری شد. بدین منظور از جوان‌ترین برگ کامل روی ساقه استفاده شد. برای به حداقل رساندن اثر تغییرات روزانه بر این پارامترها تمام اندازه‌گیری‌ها بین ساعت ۹ تا ۱۰ صبح صورت گرفت.

محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد و مقایسه میانگین داده‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد محاسبه شد. رسم نمودارها نیز با نرم افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌های آزمایش نشان داد که اثر تیمارهای مختلف منابع آهن و عصاره جلبک دریایی بر شاخص‌های مورد اندازه‌گیری در آزمایش در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱).

محتوی رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل برگی)

نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر شاخص محتوی کلروفیل a بیانگر آن بود که استفاده از تیمار ۴٪ آمینو کلات آهن + ۲٪ عصاره جلبک دریایی (با میانگین ۰/۴۵۹۰ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ) سبب بیش‌ترین افزایش کلروفیل a در مقایسه با تیمار شاهد به میزان ۱۰۰/۲۶درصد شد. همچنین تزریق تنه تیمار ۴٪ آمینو کلات آهن + ۲٪ عصاره جلبک دریایی به میزان ۶۱/۶۱٪ در مقایسه با تیمار کاربرد خاکی سکوسترون آهن، کلروفیل a را بهبود بخشید. از طرفی کاربرد منابع آمینو کلات آهن و گلوکونات آهن در تلفیق با عصاره جلبک دریایی سبب افزایش معنی‌دار کلروفیل a در مقایسه با تیمارهای سولفات آهن و سیترات آهن به تنهایی یا در تلفیق با عصاره جلبک دریایی و همچنین کاربرد خاکی سکوسترون آهن شد. در شاخص کلروفیل a از نظر آماری تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای شاهد، ۲٪ سولفات آهن، ۲٪ سیترات آهن به تنهایی و کاربرد خاکی سکوسترون آهن مشاهده نشد. نتایج مقایسه میانگین داده‌های آزمایش مربوط به شاخص کلروفیل b نشان داد که بیش‌ترین میزان این شاخص مربوط به تیمار ۴ ٪ آمینو کلات آهن + ۲٪ عصاره جلبک دریایی (با میانگین ۰/۲۰۸۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) بود که نسبت به تمام تیمارهای آزمایش اختلاف معنی‌داری نشان داد، همچنین این تیمار به ترتیب در مقایسه با تیمار شاهد و تیمار کاربرد خاکی سکوسترون آهن میزان کلروفیل b را ۵۴/۷۶ ٪ و ۳۲/۸۲ ٪ افزایش داد. کلیه تیمارهای تزریق به تنه تلفیق منابع آهن با عصاره جلبک دریایی در مقایسه با کاربرد خاکی سکوسترون آهن، کلروفیل b را به‌طور معنی‌داری افزایش داد در صورتی که تیمارهای تزریق منابع آهن به تنهایی به جز تیمار ۴٪ آمینو کلات آهن در مقایسه با کاربرد خاکی سکوسترون آهن نتوانست افزایش معنی‌داری در شاخص کلروفیلb نشان دهد، در حالی که در مقایسه با تیمار شاهد اغلب تیمارهای تزریق تنه منابع آهن میزان این شاخص را به طور معنی‌داری افزایش دادند. در نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌های

۱- Stomatal carbon dioxide (Ci)
۲- Photosynthesis (Pn)
۳- Transpiration rate (Tr)
۴- Water use efficiency (WUE)

مربوط به شاخص میزان کلروفیل کل مشاهده شد که تمام تیمارهای آزمایش در مقایسه با تیمار شاهد میزان کلروفیل کل را به طور معنی‌داری افزایش دادند، در حالی‌که تیمارهای تزریق تنه غلظت ۲٪ سولفات آهن، غلظت ۲٪ گلوکونات آهن، غلظت ۲ و ۴ ٪ سیترات آهن در مقایسه با تیمار کاربرد خاکی سکوسترون آهن، افزایش معنی‌داری در شاخص کلروفیل کل ایجاد نکردند. بیش‌ترین میزان کلروفیل کل مربوط به تیمار ۴٪ آمینو کلات آهن + ۲٪ عصاره جلبک دریایی بود که در مقایسه با تیمار شاهد و تیمار کاربرد خاکی سکوسترون آهن میزان این شاخص را به‌ترتیب ۸۴/۵۶ ٪ و ۴۷/۱۴ ٪ افزایش داد. همچنین قابل ذکر است تزریق تنه غلظت ۴٪ آمینو کلات آهن، گلوکونات آهن، سیترات آهن و سولفات آهن و تزریق تنه تیمارهای تلفیق منابع آهن با عصاره جلبک دریایی در مقایسه تیمار شاهد و تیمار کاربرد خاکی سکوسترون آهن سبب افزایش معنی‌دار شاخص کلروفیل کل شد (جدول ۲).

جدول ۲. مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایش بر خصوصیات اندازه‌گیری شده در آزمایش.

Table 2. Comparison of the average effect of experimental treatments on the characteristics measured in the experiment.

فلورسانس کلروفیل Fv/Fm	کلروفیل کل Total Chl. (mg/g FW)	کلروفیل b Chl. b (mg/g FW)	کلروفیل a Chl. a (mg/g FW)	آهن برگی Fe (mg/kg DW)	محتوی نسبی آب برگ Relative water content (%)	تیمارها Treatments
0.5672^{H}	0.3614^{M}	0.1344^{I}	0.2292^{J}	310.6^{J}	64.759^{J}	شاهد Control
0.6908^{EFG}	0.4533^{IJ}	0.1566^{F}	0.2916^{H}	550.4^{BC}	75.592^{FG}	تیمار خاکی سکوسترون آهن (Soil - SQ)
0.6632^{G}	0.4788^{H}	$0.1547F^{G}$	0.3139^{G}	450.8^{GH}	72.859^{FGH}	تزریق آمینو کلات آهن ۲٪ (TR Inj SWE 0% +AM 2%)
0.7350^{CDE}	0.5728^{CD}	0.1681^{DE}	0.4047^{B}	557.8^{BC}	80.583^{BC}	تزریق آمینو کلات آهن ۴٪ (TR Inj SWE0% + AM 4%)
0.6516^{G}	0.4410^{JK}	0.1448^{GH}	0.2962^{H}	439.0^{H}	70.922^{GHI}	تزریق گلوکونات آهن ۲٪ (TR Inj SWE 0% + GL 2%)
0.7214^{CDE}	0.5151^{G}	0.1564^{F}	0.3587^{DE}	539.4^{CD}	75.199^{EF}	تزریق گلوکونات آهن ۴٪ (TR Inj SWE 0% + GL 4%)
0.6608^{FG}	0.4153^{L}	0.1410^{HI}	0.2743^{I}	401.0^{I}	69.314^{HI}	تزریق سیترات آهن ۲٪ (TR Inj SWE 0% + SIT 2%)
0.7011^{EF}	0.4692^{HI}	0.1536^{FG}	0.3156^{G}	482.6^{EF}	72.291^{FGHI}	تزریق سیترات آهن ۴٪ (TR Inj SWE 0% + SIT 4%)
0.6696^{FG}	0.4208^{KL}	0.1368^{HI}	0.2840^{HI}	382.0^{I}	68.653^{IJ}	تزریق سولفات آهن ۲٪ (TR Inj SWE 0% + SUL 2%)
0.7209^{DE}	0.4772^{H}	0.1532^{FG}	0.3240^{G}	463.6^{FG}	71.892^{FGHI}	تزریق سولفات آهن ۴٪ (TR Inj SWE 0% + SUL 4%)
0.8001^{AB}	0.6000^{B}	0.1878^{B}	0.4122^{B}	558.0^{BC}	80.720^{BC}	تزریق عصاره جلبک ۲٪+آمینو کلات آهن ۲٪ (TR Inj – SWE2%+ AM 2%)
0.8242^{A}	0.6670^{A}	0.2080^{A}	0.4590^{A}	700.0^{A}	83.928^{AB}	تزریق عصاره جلبک ۲٪+ آمینو کلات آهن ۴٪ (TR Inj – SWE2%+ AM 2%
0.7904^{AB}	0.5376^{EF}	0.1722^{CDE}	0.3653^{CD}	521.6^{D}	79.219^{CD}	تزریق عصاره جلبک ۲٪+گلوکونات آهن ۲٪ (TR Inj – SWE2%+ GL 2%)
0.7274^{A}	0.5927^{BC}	0.1876^{B}	0.4051^{B}	682.7^{A}	85.150^{A}	تزریق عصاره جلبک ۲٪+ گلوکونات آهن۴٪ (TR Inj – SWE2%+ GL 4%)
0.6973^{EFG}	0.5023^{G}	0.1623^{EF}	0.3400^{F}	493.0^{E}	75.834^{DEF}	تزریق عصاره جلبک ۲٪+سیترات آهن ۲٪ (TR Inj – SWE2%+ SIT 2%)
0.7683^{BC}	0.5531^{DE}	0.1769^{CD}	0.3762^{C}	570.8^{B}	79.123^{CDE}	تزریق عصاره جلبک ۲٪+ سیترات آهن۴٪ (TR Inj – SWE2%+ SIT 4%)
0.7258^{CDE}	0.5154^{FG}	0.1676^{DE}	0.3478^{EF}	518.1^{D}	74.970^{F}	تزریق عصاره جلبک ۲٪+سولفات آهن ۲٪ (TR Inj – SWE2%+ SUL 2%)
0.7641^{BCD}	0.5549^{DE}	0.1813^{BC}	0.3736^{C}	563.2^{B}	81.146^{BC}	تزریق عصاره جلبک ۲٪+ سولفات آهن۴٪ (TR Inj – SWE2%+ SUL 4%)

*در هر ستون، اعدادی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD ندارند.

*In each column, the numbers that have at least one letter in common do not have a significant difference at 5% probability level based on the LSD test.

با توجه به اینکه میزان کلروفیل برگی بیانگر وضعیت سبزینگی برگ است، با بروز تنش‌های محیطی و افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز میزان کلروفیل برگی کاهش یافته بین رگبرگ‌های رنگ پریده شده و سیستم فتوسنتزی گیاه دچار آسیب جدی خواهد شد (Chen *et al*., 2004). آهن، عنصری ریز مغذی و ضروری برای رشد گیاهان است که در صورت کمبود آن، سنتز کلروفیل مختل و بافت بین رگبرگ‌های برگ‌های جوان زرد یا کلروزه می‌شوند (Alipour *et al*., 2016; Khoshgoftarmanesh *et al*., 2016). مطالعات بیانگر تاثیر مثبت منابع آهن و همچنین محرک‌های رشد به ویژه عصاره جلبک دریایی در افزایش میزان کلروفیل برگی درگیاهان مختلف است که می‌توان به مطالعه درختان افرا تحت تیمارهای آهن روی مقدار آهن کل و شاخص میزان کلروفیل برگ اشاره کرد که سبب افزایش معنی‌دار این دو شاخص شد و همچنین همبستگی مثبت و معنی‌داری بین میزان آهـن کـل و شاخص کلروفیل مشاهده شد (Hurley *et al*., 1986).

همچنین مطالعه روش‌های تزریق تنه، کاربرد خاکی و چالکود منابع آهن در درختان خرما نشان داد که تیمار تزریق تنه سولفات آهن نسبت به تیمارهای چالکود یا کاربرد خاکی منبع آهن، بیش‌ترین افزایش عملکرد و کلروفیل برگی درختان خرما را در شرایط نامناسب خاک‌های استان هرمزگان نشان داد (Saleh, 2008). از سویی دیگر در مطالعه درون درمانی یا تزریق تنه منابع مختلف آهن در کنترل کلروز برگی چنار مشاهده شد که تیمار آمینو کلات آهن در مقایسه با سایر منابع بیش‌ترین تاثیر مثبت را در افزایش کلروفیل برگی نشان داد که آزمایش حاضر در تکمیل نتایج آزمایش شیخان و همکاران در کنترل کلروز درختان چنار با استفاده از منابع آهن و عصاره جلبک دریایی به اجرا در آمد (Nikbakht *et al*., 2022). تزریق تنه درختان ۲۰ ساله مرکبات با سیترات آهن، سبب افزایش ۵۰ درصدی غلظت آهن برگ شد به طوری که رنگ برگ‌ها پس از چند روز فاقد علایم کمبود آهن شد و سبزینگی برگ‌ها به حد نرمال رسید (Hurley *et al*., 1986). کاربرد سولفات آهن ۱٪ به روش تزریق تنه در درختان هلو و زیتون رقم مانزانیلا با استفاده از روش کپسول‌های کم فشار، باعث افزایش کلروفیل و کارتنوئید برگی و سر انجام سبب بهبود وضعیت سبزینگی برگ درختان نامبرده شد (Fernández-Escobar *et al*., 1993). مطالعه اثر تزریق تنه برای بهبود وضعیت تغذیه درختان چنار، نشان داد که تزریق تنه سولفات آهن محتوی کلروفیل برگی را افزایش داد و خزان برگ درختان چنار را در فضای سبز شهری شهرستان کرج به تاخیر انداخت (Nikbakht *et al*., 2022; Saleh, 2008, 2016). علاوه بر منابع آهن تاثیر مثبت عصاره جلبک دریایی در افزایش کلروفیل برگی و رنگیزه های فتوسنتزی را به عناصر مغذی موجود در عصاره جلبک دریایی مانند نیتروژن، آهن و روی نسبت داده‌اند (Frioni *et al*., 2021).

همچنین مشخص شده که علاوه بر عناصر مغذی موجود در عصاره جلبک، تیمارهای عصاره جلبک دریایی ساخت هورمون‌های گیاهی به ویژه سایتوکینین و جیبرلین را با محتوی هورمونی کمی که دارند تحریک می‌کنند که این هورمون‌های گیاهی به خصوص سایتوکینین‌ها می‌توانند در حفظ و حتی ساخت کلروفیل گیاهی تاثیر زیادی داشته باشد (Torab Ahmadi *et al*., 2019). با وجود مطالعات گوناگون در رابطه با تاثیر مثبت عصاره جلبک دریایی در افزایش کلروفیل، در ارتباط با کاربرد تزریق تنه عصاره جلبک دریایی به تنهایی یا در ترکیب با عناصر مغذی مستنداتی یافت نشد اما با توجه به نتایج مطالعات قبلی و اینکه در روش تزریق تنه محلول‌های تیمار به صورت مستقیم درون آوندها وارد شده و سریع‌تر از روش‌هایی مانند کاربرد خاکی به محل‌های اثر می‌رسد، نتایج به دست آمده از ترکیب منابع آمینو کلات آهن و گلوکونات آهن با عصاره جلبک دریایی که سبب بیش‌ترین افزایش میزان کلروفیل برگی شده منطقی به نظر می‌رسد.

میزان محتوی نسبی آب برگ

نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر شاخص محتوی نسبی آب برگ نشان داد که تیمار گلوکونات آهن ۴٪ + عصاره جلبک دریایی ۲٪ (با میانگین ۸۵/۱۵۰ ٪) بیش‌ترین محتوی نسبی آب برگ را به ثبت رساند که نسبت به تمام تیمارهای به کار رفته در آزمایش به جز تیمار تزریق تنه آمینو کلات آهن ۴٪ + عصاره جلبک دریایی ۲٪ (با میانگین ۸۲/۹۲۸ ٪)، افزایش معنی‌داری را در این شاخص نشان داد. کم‌ترین میزان شاخص محتوی نسبی آب برگ مربط به تیمار کنترل (با میانگین ۶۴/۷۵٪) بود. همچنین قابل ذکر است تیمارهای تزریق تنه گلوکونات آهن۴٪ + عصاره جلبک دریایی ۲٪ و تیمار آمینو کلات آهن۴٪ + عصاره جلبک دریایی۲٪ در مقایسه با تیمار کاربرد خاکی سکوسترون آهن به ترتیب به میزان ۱۲/۶۴ و ۹/۹۲ ٪ محتوی نسبی آب برگ را افزایش دادند. تمام تیمارهای تزریق تنه و کاربرد خاکی آهن در مقایسه با تیمار شاهد، شاخص محتوی نسبی آب برگ را به طور معنی‌داری افزایش دادند (جدول ۲).

هرعامل موثر در حفظ آب گیاه می‌تواند در معرفی رقم متحمل تاثیرگذار باشد. شاخص محتوای نسبی آب برگ از شاخص‌های مهم در شناسایی و معرفی گونه‌های متحمل به شرایط نامساعد محیطی است (Goodarzian Ghahfarokhi *et al*., 2015). Nikbakht و همکاران در ارتباط با تزریق تنه منابع آهن به درخت چنار به روش آزمایش حاضر با استفاده از کپسول‌های کم فشار گزارش کردند که مانند نتایج آزمایش حاضر آمینو کلات آهن بیش‌ترین تاثیر مثبت را در بین منابع آهن بر محتوی نسبی آب برگ نشان داد و پس از آن گلوکونات آهن تاثیر مثبت و معنی‌دار بر این شاخص در مقایسه با شاهد داشت (Nikbakht *et al*., 2022). آمینو کلات های آهن ترکیب طبیعی از منابع آهن هستند که در مطالعات پیشین هم تاثیر مثبت آن‌ها بر شاخص‌های رشدی مشاهده شد و همچنین تجزیه‌پذیری نوری کم و حلالیت بالایی در مقایسه با سایر منابع آهن دارند (Asadollahzade *et al*., 2018).

مستندات در رابطه با تاثیر گلوکونات آهن و آمینو کلات آهن بسیار کم بوده و احتمالاً تاثیر مثبت گلوکونات آهن و آمینو کلات آهن در اثر بهبود سایر شاخص‌های فیزیولوژیکی مانند رنگیزه‌های فتوسنتزی و میزان فتوسنتز یا افزایش محصولات فتوسنتزی و پتانسیل اسمزی سبب جذب و یا نگهداری آب بیش‌تر در سلول‌های برگی می‌شود. همچنین در جدول همبستگی صفات (جدول ۳) مشاهده شد که بین صفات رنگیزه‌های فتوسنتزی و میزان فتوسنتز با شاخص محتوی نسبی آب برگ همبستگی مثبت و معنی‌دار وجود دارد. مشابه با نتیجه آزمایش حاضر کاربرد عصاره جلبک دریایی بر شاخص محتوی نسبی آب برگ درخت گیلاس نشان داد که عصاره جلبک دریایی در مقایسه با شاهد این شاخص را به طور معنی‌داری افزایش داد (Correia *et al*., 2020). تاکنون تاثیر استفاده از عصاره جلبک دریایی به تنهایی یا در ترکیب با عناصر غذایی با استفاده از تزریق تنه بر شاخص محتوی نسبی آب برگ بررسی نشده است.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایش بر خصوصیات اندازه گیری شده در آزمایش.

Table 3. Comparison of the average effect of experimental treatments on the characteristics measured in the experiment.

کیفیت ظاهری درخت The appearance quality of the tree	کارایی نسبی آب WUE (mmol CO2mmol (H2O-1	سرعت تعریق Tr (mmol H_2O m^{-2} s^{-1})	میزان فتوسنتز Pn (µmol m^{-2} s^{-1})	مقدار دی اکسید کربن اتاقک روزنه Ci (µmol mol^{-1})	Treatments تیمارها
6.1111^{I}	1.7913^{G}	2.5440^{HIJ}	4.5422^{J}	320.30^{I}	شاهد (Control)
6.8333^{FGH}	1.7458^{G}	3.0907^{A}	5.3922^{GH}	466.20^{DEF}	تیمار خاکی سکوسترون آهن (Soil - SQ)
6.8056^{FGHI}	$2.1294^{CDE}F$	2.8573^{BCDE}	6.0378^{DE}	432.56^{FG}	تزریق تآمینو کلات آهن ۲٪ (TR Inj SWE 0% +AM 2%)
7.3611^{CDEFG}	2.0517^{DEF}	3.0907^{A}	6.3356^{CD}	491.69^{CD}	تزریق آمینو کلات اهن ۴٪ (TR Inj SWE0% + AM 4%)
6.8056^{FGHI}	2.1107^{CDEF}	2.7140^{FG}	5.7067^{EFG}	352.48^{HI}	تزریق گلوکونات آهن ۲٪ (TR Inj SWE 0% + GL 2%)
7.0278^{DEFGH}	2.1637^{CD}	2.7707^{EF}	5.9789^{DEF}	436.52^{EFG}	تزریق گلوکونات آهن ۴٪ (TR Inj SWE 0% + GL 4%)
6.7500^{GHI}	1.9984^{EF}	2.6007^{GH}	5.1867^{HI}	376.57^{H}	تزریق سیترات اهن ۲٪ (TR Inj SWE 0% + SIT 2%)
6.9167^{EFGH}	2.1032^{CDEF}	2.5773^{HI}	5.4100^{GH}	412.31^{G}	تزریق سیترات اهن ۴٪ (TR Inj SWE 0% + SIT 4%)
6.5833^{HI}	1.9824^{F}	2.4473^{J}	4.8367^{IJ}	377.28^{H}	تزریق سولفات اهن ۲٪ (TR Inj SWE 0% + SUL 2%)
6.8056^{FGHI}	2.0706^{DEF}	$2.4773I^{J}$	5.1189^{HI}	414.96^{G}	تزریق سولفات آهن ۴٪ (TR Inj SWE 0% + SUL 4%)
7.9167^{BC}	2.2296^{BC}	2.8973^{BCD}	6.4422^{C}	532.94^{B}	تزریق عصاره جلبک ۲٪+آمینو کلات آهن ۲٪ (TR Inj – SWE2%+ AM 2%)

تزریق عصاره جلبک ۲٪+ آمینو کلات اهن ٪۴ (TR Inj – SWE2%+ AM 2%)	607.93^{A}	7.3600^{A}	2.9407^{B}	2.5159^{A}	8.7778^{A}
تزریق عصاره جلبک ۲٪+گلوکونات آهن ۲٪ (TR Inj – SWE2%+ GL 2%)	514.63^{BC}	6.3422^{CD}	2.9273^{BC}	2.1689^{CD}	7.6944^{BCD}
تزریق عصاره جلبک ۲٪+ گلو کونات آهن۴٪ (TR Inj – SWE2%+ GL 4%)	582.24^{A}	6.9178^{B}	2.9340^{BC}	2.3724^{AB}	8.3611^{AB}
تزریق عصاره جلبک ۲٪+سیترات آهن ۲٪ (TR Inj – SWE2%+ SIT 2%)	467.68^{DE}	5.6644^{FG}	2.7173^{FG}	2.0866^{CDEF}	7.4722^{CDEF}
تزریق عصاره جلبک ۲٪+ سیترات آهن۴٪ (TR Inj – SWE2%+ SIT 4%)	497.51^{CD}	6.2144^{CD}	2.8440^{BCDE}	2.1926^{CD}	7.5833^{CDE}
تزریق عصاره جلبک ۲٪+سولفات آهن ۲٪ (TR Inj – SWE2%+ SUL 2%)	481.94^{CD}	5.7156^{EFG}	2.7773^{DEF}	2.0616^{DEF}	7.2500^{CDEFGH}
تزریق عصاره جلبک ۲٪+ سولفات آهن۴٪ (TR Inj – SWE2%+ SUL 4%)	511.29^{BC}	6.0133^{DEF}	2.8140^{CDEF}	2.1387^{CDE}	7.6389^{CD}

*در هر ستون، اعدادی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD ندارند.

*In each column, the numbers that have at least one letter in common do not have a significant difference at 5% probability level based on the LSD test.

مقدار عنصر آهن برگی

بر اساس مقایسه میانگین داده‌های مربوط به مقدار عنصر آهن برگی تحت تاثیر تیمارهای آزمایش حاضر مشخص شد که تحت تیمارهای تزریق تنه آمینو کلات آهن ۴٪ + عصاره جلبک دریایی ۲٪ (با میانگین ۰/۷۰۰۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) و گلوکونات آهن ۴٪ + عصاره جلبک دریایی ۲٪ (با میانگین ۰/۶۸۲۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) بیش‌ترین میزان عنصر آهن برگی به ثبت رسید که در مقایسه با تیمار شاهد به ترتیب ۱۲۵/۳۷ ٪ و ۱۱۹/۸۰٪ و در مقایسه با تیمار کاربرد خاکی سکوسترون آهن به ترتیب ۲۷/۱۸٪ و ۲۴/۰۳٪ محتوی آهن برگ را افزایش دادند. همچنین دو تیمار غلظت ۴٪ گلوکونات آهن و آمینو کلات آهن در ترکیب با غلظت ۲٪ عصاره جلبک دریایی در مقایسه با سایر تیمارهای آزمایش به طور معنی‌داری میزان عنصر آهن برگی را افزایش دادند، در حالی‌که بین این دو تیمار از نظر آماری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. قابل ذکر است تمام تیمارهای تزریق تنه به کار رفته در آزمایش و کاربرد خاکی سکوسترون آهن در مقایسه با تیمار شاهد به طور معنی‌داری میزان آهن برگ را افزایش دادند. به‌طور کلی، ترکیب تیمارهای تزریق تنه منابع آهن با عصاره جلبک دریایی تاثیر مثبت معنی‌دار بالاتری بر شاخص عنصر آهن برگ در مقایسه با تیمارهای منابع آهن به تنهایی داشت (جدول ۲). مقایسه تیمارهای تزریق تنه با منابع مختلف آهن و تیمار کاربرد آهن در خاک با هدف افزایش عملکرد درختان خرما مشخص کرد که میزان آهن برگ تحت تیمار تزریق تنه با آهن در مقایسه با شاهد و استفاده خاکی آن افزایش معنی‌داری پیدا کرد که با نتایج آزمایش حاضر پس از تزریق تنه منابع مختلف آهن در مقایسه با شاهد مطابقت داشت (Abo-Rady *et al*., 1987; Saleh, 2008).

در مطالعه‌ای دیگر روی تغذیه گلابی رقم کنت رشد کرده در شرایط خاک‌های قلیایی با استفاده از روش‌های تزریق تنه، محلول‌پاشی برگی و کاربرد خاکی منابع تغذیه مشاهده شد که محتوای آهن برگ در روش‌های کاربرد خاکی، محلول‌پاشی برگی و تزریق تنه در مقایسه با شاهد پس از اعمال تیمارها، افزایش یافت که نتایج آزمایش حاضر را تایید می‌کند (Peryea & Kammereck., 1997; Mortvedt, 1991). نتایج مطالعات پیشین افزایش میزان آهن برگ پس از تیمار درختان با منابع آهن را نشان داد که با نتایج آزمایش حاضر مطابقت داشت (Dehnavi *et al*., 2017; Elkins & Fichtner, 2016; De laGuardia & Alcántara, 2002). همچنین، کاربرد محلول‌پاشی با عصاره جلبک دریایی تاثیر مثبتی در افزایش محتوی آهن برگ نشان داد که احتمالاً به دلیل مقدار آهن و ترکیبات تسهیل کننده جذب این عنصر در عصاره جلبک دریایی است (Torab Ahmadi *et al*., 2019). با افزایش عنصر آهن به دلیل دارا بودن نقش در سنتز کلروفیل، بهبود وضعیت فتوسنتزی گیاه پس از اعمال تیمارهای آهن و عصاره جلبک مورد انتظار است، هرچند که مطالعات و مستندات بر کاربرد تزریق تنه عصاره جلبک به تنهایی یا در ترکیب با عناصر غذایی بسیار محدود است و آزمایش حاضر می‌تواند برای انجام تحقیقات بیش‌تر در این زمینه پیشرو باشد.

شاخص فلورسانس کلروفیل

مقایسه میانگین داده‌های مربوط به اثر تیمارهای مختلف بر بالاترین عملکرد کوانتومی فتوسیستم ۲ نشان داد که تمام تیمارهای تزریق تنه و کاربرد خاکی سکوسترون آهن در مقایسه با تیمار شاهد به طور معنی‌داری شاخص فلورسانس کلروفیل را افزایش دادند. بیش‌ترین افزایش مقدار این شاخص مربوط به تیمار آمینو کلات آهن ۴٪+ عصاره جلبک دریایی ۲٪ (با میانگین ۰/۸۲۴۲) بود که این شاخص را در مقایسه با شاهد ۴۵/۳۱٪ و در مقایسه با کاربرد خاکی سکوسترون آهن ۱۹/۳۱٪ افزایش داد. از طرفی بین غلظت‌های ۲ و ۴٪ آمینو کلات آهن و گلوکونات آهن در ترکیب با غلظت ۲٪ عصاره جلبک دریایی از نظر آماری تفاوت معنی‌داری دیده نشد که نشان می‌دهد تزریق تنه ترکیب عصاره جلبک دریایی با آمینو کلات آهن و گلوکونات آهن بیش‌ترین تاثیر مثبت را در افزایش شاخص فلورسانس کلروفیل داشتند. همچنین کاربرد خاکی سکوسترون آهن سبب افزایش معنی‌دار ۲۱/۷۹ ٪ شاخص فلورسانس کلروفیل در مقایسه با تیمار شاهد شد. نتایج نشان داد که تزریق تنه با منابع آهن در ترکیب با عصاره جلبک دریایی در بهبود شاخص فلورسانس کلروفیل نسبت به تزریق تنه با منابع آهن به تنهایی موثرتر بود (جدول ۲). کلروفیل فلورسنس به عنوان ابزاری برای بررسی سلامت گیاهان می‌تواند استفاده شود (Chen *et al*., 2004). شاخص Fv/Fm معرف ظرفیت انتقال الکترون فتوسیستم II یا بالاترین عملکرد کوانتومی فتوسیستم II در شرایط تاریکی است، کاهش این شاخص عمدتاً به دلیل آشفتگی در کلروپلاست است که کاهش محتوی کلروفیل برگی نشانه این موضوع است زیرا فلورسانس کلروفیل به‌طور مستقیم با فعالیت کلروفیل برگی در واکنش فتوسیستم‌ها ارتباط دارد که می‌تواند به‌عنوان معیاری برای ارزیابی کارایی فتوسیستم به کار گرفته شود (Mengel, 1994).

مشابه استفاده از منابع آهن در آزمایش حاضر، Nikbakht و همکاران گزارش کردند که تزریق تنه آمینو کلات آهن و گلوکونات آهن سبب افزایش شاخص Fv/Fm می‌شود (Nikbakht *et al*., 2022). موحدی دهنوی و همکاران (۱۳۹۵) گزارش کردند کاربرد توام آهن و روی به صورت محلول‌پاشی میزان شاخص Fv/Fm را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش و اثر منفی تنش خشکی را کاهش داد که بخشی از نتایج آزمایش حاضر را تایید می‌کند. کاربرد عصاره جلبک دریایی در هر دو روش محلول‌پاشی برگی و کاربرد خاکی در شرایط آبیاری طبیعی (بدون تنش خشکی) به طور معنی‌داری شاخص Fv/Fm را در مقایسه با شاهد و کاربرد عصاره جلبک دریایی به هر دو روش خاکی و محلول‌پاشی در شرایط تنش خشکی افزایش داد. همچنین گزارش شده است که کاربرد عصاره جلبک دریایی به هر دو روش محلول‌پاشی و خاکی در مقایسه با گیاهان شاهد در شرایط تنش خشکی، شاخص Fv/Fm را از نظر آماری به صورت معنی‌داری افزایش داد (Frioni *et al*., 2021). مستندات در رابطه با تاثیر عصاره جلبک دریایی در ترکیب با منابع آهن در روش تزریق تنه بسیار محدود است اما با توجه به اثرات مثبت آمینو کلات‌های آهن و عصاره جلبک دریایی در مطالعات گذشته و همچنین بر اساس اثر همبستگی مثبت و معنی دار بین میزان کلروفیل برگی و فورسانس کلروفیل می‌توان انتظار داشت ترکیب آمینو کلات آهن و گلوکونات آهن با عصاره جلبک دریایی در مقایسه با اثر هر یک از عوامل آزمایش به تنهایی اثر معنی‌داری بر افزایش شاخص فلورسانس کلروفیل نشان دهد (جدول ۵).

شاخص‌های فتوسنتزی(دی اکسید کربن اتاقک روزنه، میزان فتوسنتز، میزان تعریق برگی، کارایی نسبی آب گیاه)

مقدار دی اکسید کربن زیر اتاقک روزنه

کاربرد تیمارهای منابع آهن به روش تزریق تنه به تنهایی یا در ترکیب با عصاره جلبک دریایی و کاربرد خاکی سکوسترون آهن در مقایسه با تیمار شاهد سبب افزایش معنی‌دار شاخص میزان دی اکسیدکربن زیر اتاقک روزنه شد. مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر مقدار دی اکسید کربن زیر اتاقک روزنه نشان داد که بیش‌ترین مقدار دی اکسید کربن مربوط به تیمارهای تزریق تنه آمینو کلات آهن ۴٪ + عصاره جلبک دریایی ۲٪ (با میانگین ۶۰۷/۹۳ میکرومول دی اکسید کربن بر مول) و گلوکونات آهن ۴٪ + عصاره جلبک دریایی ۲٪ (با میانگین ۵۸۲/۲۴ میکرومول دی اکسید کربن بر مول) بود که اختلاف معنی‌دار با سایر تیمارهای به کار رفته در آزمایش نشان دادند. همچنین تیمار تزریق تنه آمینو کلات آهن۴٪+ عصاره جلبک دریایی ۲٪ در مقایسه با تیمار شاهد ۸۹/۸۰ ٪ و در مقایسه به تیمار کاربرد خاکی سکوسترون آهن ۳۰/۴۰ ٪ مقدار دی اکسید کربن اتاقک زیر روزنه را افزایش داد در حالی‌که تیمار گلوکونات آهن ۴٪ + عصاره جلبک دریایی ۲٪ در مقایسه با شاهد ۸۱/۷۷ ٪ و در مقایسه با تیمار کاربرد خاکی سکوسترون آهن ۲۴/۸۹٪ مقدار دی اکسید کربن را افزایش داد. بین دو تیمار تزریق تنه آمینو کلات آهن ٪۴ + عصاره جلبک دریایی ۲٪ و گلوکونات آهن ۴٪ + عصاره جلبک دریایی ۲٪ از نظر میزان دی‌اکسید کربن زیر اتاقک روزنه

اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. همانند سایر شاخص‌های اندازه‌گیری شده، تیمارهای تزریق تنه منابع آهن ترکیب شده با عصاره جلبک دریایی در غلظت‌های مختلف در مقایسه با تیمارهای تزریق تنه منابع آهن به تنهایی تاثیر مثبت معنی‌دار بیش‌تری بر شاخص دی اکسید کربن اتاقک زیر روزنه داشتند (جدول ۳).

شاخص فتوسنتز برگی

نتایج نشان داد که تیمار تزریق تنه با آمینوکلات آهن ۴٪+ عصاره جلبک دریایی ۲٪ بیش‌ترین میزان فتوسنتز برگی را نشان داد که در مقایسه با سایر تیمارها اختلاف معنی-داری از نظر آماری داشت. تیمار تزریق تنه با آمینوکلات آهن ۴٪+ عصاره جلبک دریایی ۲٪ در مقایسه با شاهد ۶۲/۰۳٪ و در مقایسه با کاربرد خاکی ۳۶/۴۹٪ موجب افزایش میزان فتوسنتز برگ شد. کم‌ترین میزان فتوسنتز برگی مربوط به تیمار شاهد بود که کلیه تیمارهای تزریق تنه و کاربرد خاکی به جز تیمار تزریق تنه با سولفات آهن ۲٪ سبب افزایش معنی‌دار شاخص فتوسنتز برگی در مقایسه با شاهد شدند. همچنین کاربرد خاکی سکوسترون آهن در مقایسه با شاهد فتوسنتز برگی را ۱۸/۷۱٪ افزایش داد. به طور کلی با افزایش غلظت منابع آهن به خصوص در ترکیب با عصاره جلبک دریایی، میزان فتوسنتز نیز افزایش می‌یابد (جدول ۳).

سرعت تعرق برگی

نتایج تاثیر تیمارهای آزمایش بر شاخص میزان تعرق برگی نشان داد که بیش‌ترین سرعت تعرق برگی مربوط به تیمارهای کاربرد خاکی سکوسترون آهن و تیمار تزریق تنه با آمینوکلات آهن ۴٪ بود که این دو تیمار شاخص سرعت تعریق برگی را در مقایسه با تیمار شاهد به میزان ۲۱/۴۸ ٪ افزایش دادند. کم‌ترین سرعت تعرق برگی مربوط به تیمار شاهد با میانگین ۲/۵۴۴۰ میلی مول آب بر مترمربع بر ثانیه بود. تمام تیمارهای تزریق تنه ترکیب منابع آهن با عصاره جلبک دریایی در مقایسه با تیمار شاهد به طور معنی‌داری میزان تعرق برگی را افزایش دادند، در حالی‌که تیمارهای تزریق تنه با سیترات آهن ۲و ۴٪ و سولفات آهن ۲ و ۴٪ در مقایسه با تیمار شاهد تاثیر معنی‌داری بر شاخص سرعت تعرق برگی نداشتند (جدول ۳).

شاخص کارایی نسبی آب برگ

تاثیر تیمارهای مختلف آزمایش بر شاخص کارایی نسبی آب برگ مشخص کرد که تمام تیمارهای تزریق تنه با منابع آهن به تنهایی یا تزریق تنه با ترکیب منابع آهن و عصاره جلبک دریایی در مقایسه با تیمار شاهد و کاربرد خاکی سکوسترون آهن سبب افزایش معنی‌دار کارایی نسبی آب برگ شد. بیش‌ترین تاثیر مثبت در افزایش کارایی نسبی آب برگ مربوط به تیمار تزریق تنه با ترکیب آمینو کلات آهن ۴٪ + عصاره جلبک دریایی ۲٪ (با میانگین ۲/۵۱۵۹ میلی مول دی اکسید کربن بر میلی مول آب) بود که به میزان ۴۰/۴۵٪ در مقایسه با شاهد و به میزان ۴۴/۱۱٪ در مقایسه با تیمار کاربرد خاکی سکوسترون آهن کارایی نسبی آب برگ را بهبود بخشید. بین تیمار شاهد (میانگین ۱/۷۹۱۳ میلی مول دی اکسید کربن بر میلی مول آب) و تیمار کاربرد خاکی سکوسترون آهن (با میانگین ۱/۷۴۵۸ میلی مول دی اکسید کربن بر میلی مول آب) با کم‌ترین میزان کارایی نسبی آب برگ از نظر آماری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳).

به طور کلی، تزریق تنه با منابع آهن به تنهایی یا در ترکیب با عصاره جلبک دریایی، کارایی نسبی آب برگ را در مقایسه با شاهد و یا کاربرد خاکی سکوسترون آهن بهبود دادند. گیاهان در مواجهه با شرایط نامساعد محیطی روزنه‌های خود را به حالت بسته یا نیمه بسته نگه می‌دارند. بنابراین، به دلیل کاهش مقدار CO_2 درون سلول، تثبیت CO_2 کاهش می‌یابد که این امر نیز باعث کاهش میزان تعرّق می‌شود. در واقع گیاهان در این شرایط مکانیسم‌هایی را فعال می‌کنند که از آب موجود حداکثر استفاده را داشته باشند. در مواجهه با تنش‌ها به خصوص کم آبی دو گروه عوامل محدودکننده فتوسنتز هستند. گروه اول، عوامل محدودکننده روزنه‌ای شامل بسته شدن روزنه‌ها، کاهش غلظت دی‌اکسیدکربن داخل برگ و کاهش انتقال دی اکسید کربن به کلروپلاست است که سبب محدود شدن فتوسنتز می‌شود. گروه دوم عوامل محدودکننده غیرروزنه‌ای است که شامل مقدار کلروفیل، کاهش فعالیت و مقادیر آنزیم روبیسکو، مهار سنتز ریبولوز بیس فسفات و کاهش انتقال الکترون فتوسنتزی به فتوسیستم II است (Beykkhormizi *et al*., 2016).

گزارش شده است که محلول‌پاشی با آهن سبب افزایش میزان شاخص‌های تبادلات گازی از قبیل هدایت روزنه‌ای، میزان فتوسنتز و تعرق شد (Cheng *et al*., 2022). همچنین مشابه نتایج آزمایش حاضر، کاربرد سولفات آهن در مطالعه بر روی بادام زمینی سبب افزایش فتوسنتز و میزان تعرق برگی شد. از طرفی گزارش مطالعه‌ای حاکی از تاثیر مثبت عصاره جلبک دریایی در

افزایش میزان فتوسنتز و تعرق برگی در درختان سیب رقم فوجی بود که با بخشی از نتایج آزمایش حاضر مربوط به اثر عصاره جلبک دریایی بر شاخص‌های فتوسنتزی همسو و منطبق بود (Spinelli *et al*., 2009). تا کنون گزارشی مشابه آزمایش حاضر در خصوص اثر منابع آهن و عصاره جلبک دریایی استفاده از روش تزریق تنه بر شاخص‌های فتوسنتزی در درختان دارای کلروز منتشر نشده است، اما با توجه به اثر همبستگی مثبت (جدول ۴) شاخص‌های فتوسنتزی با صفت رنگیزه‌های فتوسنتزی می‌توان پیشنهاد کرد که استفاده از تیمار ترکیبی آمینو کلات آهن و عصاره جلبک دریایی احتمالاً تیمار موثری در رفع کلروز برگی درختان چنار در شرایط محیطی اصفهان در تابستان باشد.

جدول ۴. جدول همبستگی بین صفات اندازه گیری شده در آزمایش

Table 4. Correlation table between traits measured in the experiment.

	کلروفیل a Chl. a	کلروفیل b Chl. b	کلروفیل کل Total Chl.	دی اکسیدکربن اتاقک روزنه Ci	آهن برگ Fe	فلورسانس کلروفیل Fv/Fm	میزان فتوسنتز Pn	کیفیت ظاهری درخت The appearance tree quality	محتوی نسبی آب برگ Relative water content	سرعت تعریق Tr
کلروفیل b Chl. b	0.8554**									
کلروفیل کل Total Chl.	0.9851**	0.9248**								
دی اکسیدکربن اتاقک روزنه Ci	0.8044**	0.7979**	0.8307**							
آهن برگ Fe	0.8701**	0.8419**	0.8903**	0.8498**						
فلورسانس Fv/Fm	0.7833**	0.7595**	0.7998**	0.6969**	0.7628**					
میزان فتوسنتز Pn	0.8170**	0.7915**	0.8405**	0.7497**	0.8116**	0.7229**				
کیفیت ظاهری درخت The appearance tree quality	0.6067**	0.5997**	0.6182**	0.5953**	0.6264**	0.6082**	0.5630**			
محتوی نسبی آب برگ Relative water content	0.4460**	0.4342**	0.4580**	0.4077**	0.5070**	0.3636**	0.4279**	0.3999**		
سرعت تعریق Tr	0.4222**	0.5056**	0.4672**	0.5149**	0.5648**	0.4128**	0.5244**	0.4308**	0.2496**	
کارایی نسبی آب WUE	0.6332**	0.5427**	0.6285**	0.4883**	0.5285**	0.5256**	0.7699**	0.3222**	0.3143**	-0.1349 ns

معنی‌دار بودن در سطح ۱٪ :** , معنی دار بودن در سطح۵٪ :* ,عدم معنی‌دار بودن :ns

ns: non-significant; *****: significant at P≤0.05; ******: significant at P≤0.01.

کیفیت ظاهری درخت

نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف مربوط به شاخص کیفیت ظاهری درخت نشان داد که با کاربرد غلظت ۴٪ منابع مختلف آهن هنگام تزریق تنه به تنهایی یا در ترکیب با عصاره جلبک کیفیت ظاهری درختان چنار در آزمایش حاضر در مقایسه با تیمار شاهد به طور معنی‌داری افزایش پیدا کردند. همچنین کاربرد خاکی سکوسترون آهن در مقایسه با تیمار شاهد سبب بهبود معنی‌دار کیفیت ظاهری درختان شد. در بین تیمارهای به کار رفته در آزمایش بیش‌ترین کیفیت ظاهری درخت تحت تاثیر تیمار تزریق تنه ترکیب آمینوکلات آهن ۴٪ و عصاره جلبک دریایی ۲٪ به ثبت رسید که در مقایسه با تیمار شاهد این شاخص را به میزان ۴۳/۶۳ ٪ بهبود بخشید. کم‌ترین میزان کیفیت ظاهری درخت در آزمایش نیز تحت تیمار شاهد مشاهده شد. همچنین قابل ذکر است در شاخص کیفیت ظاهری درخت بین تیمار شاهد و تیمارهای تزریق تنه با منابع مختف آهن با غلظت ۲٪ از نظر آماری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳).

نتایج آزمایش Nikbakht و همکاران (۱۴۰۱) مشابه بخشی از نتایج آزمایش حاضر آمینو کلات آهن و گلوکونات آهن را به عنوان منابع برتر آهن در افزایش کیفیت ظاهری درختان تزریق شده گزارش کرد (Nikbakht *et al*., 2022). همچنین بین شاخص کیفیت ظاهری درخت با شاخص‌های کلروفیل برگی، میزان فتوسنتز و محتوی آب نسبی برگ که می‌تواند در کیفیت ظاهری درخت و برگ اثر داشته باشند همبستگی مثبت و معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۴). مطالعات مشابه درخصوص تاثیر تزریق تنه ترکیب منابع آهن و عصاره جلبک دریایی در بهبود شرایط ظاهری درخت محدود است و مطالعه حاضر به عنوان مطالعه اولیه و راهنما در این موضوع می‌تواند نتایج و نشانه‌های مثبتی در ارتباط با کنترل کلروز درختان با روش تزریق تنه یا درون درمانی باشد.

جدول ۴ نتایج مربوط به همبستگی بین صفات را نشان می‌دهد بر اساس این جدول بین اغلب صفات همبستگی مثبت و معنی‌دار وجود دارد، در حالی‌که بین صفت تعرق و صفت کارایی نسبی آب همبستگی منفی مشاهده شد. وجود رابطه همبستگی مثبت و معنی‌دار بین صفاتی همچون کلروفیل برگی، مقدار آهن، میزان فتوسنتز و کیفیت ظاهری درخت نشانگر اثر مثبت تیمارهای آزمایش در سنتز کلروفیل و بهبود فتوسنتز گیاه و در نهایت رشد رویشی درختان چنار است که سبب اثبات فرضیه کاربردی بودن اثر منابع آهن در ترکیب با عصاره جلبک دریایی با استفاده از سیستم کم فشار تزریق تنه در بهبود شرایط کلروز برگی درختان چنار در شرایط نامساعد محیطی تابستان‌های شهر اصفهان است. از سویی بررسی‌های منابع در ارتباط با تاثیر مثبت آمینوکلات آهن نشان داد که مقادیر بالای آمینو اسیدها می‌تواند به عنوان منبع اولیه سنتز پروتئین یا آنزیم‌ها باشد. همچنین، عصاره جلبک دریایی با دارا بودن انواع تنظیم کننده‌های رشد نظیر سایتوکنین و جیبرلین و عناصر ریز مغذی همچون آهن می‌تواند بر سنتز کلروفیل و روابط آبی گیاه در تابستان موثر باشد. از طرفی افزایش میزان کلروفیل و بهبود روابط فیزیولوژیک سلول‌های برگی قطعا می‌تواند در ادامه سبب بهبود وضعیت ظاهری نسبت به شاهد گردد.

نتیجه گیری

تیمار تزریق تنه آمینو کلات آهن ۴٪ در ترکیب با عصاره جلبک دریایی ۲٪ در کاهش علائم زردبرگی درخت چنار در تابستان و بهبود بیشتر شاخص‌های آزمایش در مقایسه با شاهد و کاربرد خاکی سکوسترون آهن، موثر بود و سبب بهبود رشد و افزایش سنتز کلروفیل و بهبود فتوسنتز و کیفیت ظاهری درختان چنار شد.

سپاسگزاری

از مسئولین شرکت فرین کشت تابان و شرکت فرت اینجکت اسپانیا که ادوات و امکانات سیستم کم فشار درون درمانی را برای انجام آزمایش حاضر فراهم نمودند، کمال تشکر و قدر دانی را دارم.

منابع

References

Aalipour, H., Nikbakht, A., & Etemadi, N. (2019). Relationship between chlorosis, photosynthesis and the nutrient content of plane trees in the presence of chemical and organic fertilizers. *Advances in Horticultural Science*, *33*(2), 171-178.

Abo-Rady, M. D. K., Ahmed, H. S., & Ghanem, M. (1987). Response of date palm to iron fertilization by trunk injection and soil application. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, *150*(4), 197-200.

Alipour Amraie, H., Nikbakht, A., Etemadi, N., Norbakhsh, F., & Rejali, F. (2016). Beneficial effects of mycorrhizal fungi on growth characteristics and nutrients uptake by plane tree (*Platanus orientalis* L.), subjected to deficit irrigation. *Isfahan University of Technology-Journal of Crop Production and Processing*, *6*(21), 81-90. In Persian.

Anderson, W. B. (1982). Diagnosis and correction of iron deficiency in field crops-an overview. *Journal of Plant Nutrition*, *5*(4-7), 785-795.

Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, *24*(1), 1-5.

Asadollahzade, M. J., Khoshgoftarmanesh, A. H., & Sepehri, M. (2018). The effect of Piriformospora Indica on shoot and root dry matter yield and Zinc and Iron uptake by wheat in a calcareous soil. *JWSS-Isfahan University of Technology*, *21*(4), 271-281. In Persian.

Barker, A. V., & Pilbeam, D. J. (Eds.). (2015). *Handbook of plant nutrition*. CRC press.

Beykkhormizi, A., Abrishamchi, P., Ganjeali, A., & Parsa, M. (2016). Effect of vermicompost on some morphological, physiological and biochemical traits of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under salinity stress. *Journal of Plant Nutrition*, *39*(6), 883-893.

Chen, L. S., Smith, B. R., & Cheng, L. (2004). CO_2 assimilation, photosynthetic enzymes, and carbohydrates of Concord grape leaves in response to iron supply. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, *129*(5), 738-744.

Cheng, S. R., Li, S. S., Liang, Z. W., Huang, F. C., Wu, X. Q., Han, Z. Y., ... & Ren, Y. (2022). Effect of application of iron (Fe) and α-ketoglutaric acid on growth, photosynthesis, and Fe content in fragrant rice seedlings. *Photosynthetica*, *60*(2), 293-303.

Correia, S., Queirós, F., Ferreira, H., Morais, M. C., Afonso, S., Silva, A. P., & Gonçalves, B. (2020). Foliar application of calcium and growth regulators modulate sweet cherry (*Prunus avium* L.) tree performance. *Plants*, *9*(4), 410.

De laGuardia, M. D., & Alcántara, E. (2002). Bicarbonate and low iron level increase root to total plant weight ratio in olive and peach rootstock. *Journal of Plant Nutrition*, *25*(5), 1021-1032.

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

Elkins, R., & Fichtner, E. (2016). Causes and Control of Lime-induced Fe Deficiency in California Fruit and Nut Crops. *University of California Agriculture and Natural Resources Publication*, 21637.

Fernández-Escobar, R., Barranco, D., & Benlloch, M. A. N. U. E. L. (1993). Overcoming iron chlorosis in olive and peach trees using a low-pressure trunk-injection method. *HortScience*, *28*(3), 192-194.

Frioni, T., VanderWeide, J., Palliotti, A., Tombesi, S., Poni, S., & Sabbatini, P. (2021). Foliar vs. soil application of *Ascophyllum nodosum* extracts to improve grapevine water stress tolerance. *Scientia Horticulturae*, *277*, 109807.

Ghoulam, C., Foursy, A., & Fares, K. (2002). Effects of salt stress on growth, inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars. *Environmental and Experimental Botany*, *47*(1), 39-50.

Goodarzian Ghahfarokhi, M., Mansurifar, S., Taghizadeh-Mehrjardi, R., Saeidi, M., Jamshidi, A. M., & Ghasemi, E. (2015). Effects of drought stress and rewatering on antioxidant systems and relative water content in different growth stages of maize (*Zea mays* L.) hybrids. *Archives of Agronomy and Soil Science*, *61*(4), 493-506.

Hosseinifarahi, M., Goodarzi, K., & Kavoosi, B. (2010). Correction of Zn Deficiency and Increasing of Yield via Trunk Injection Method on Grapevine (*Vitis vinifera* L) cv, Askari. *Journal Of Horticultural Science*, *23*(2): 108-118. In Persian.

Hurley, A. K., Valser, R. H., & Davis, T. D. (1986). Net photosynthesis and chlorophyll content in silver maple after trunk injection of ferrous sulfate. *Journal of Plant Nutrition*, *9*(3-7), 683-693.

Khoshgoftarmanesh, A. H., Eshghizadeh, H. R., Ostovar, A. S., & Taban, M. (2016). Assessment of iron (Fe) chlorosis in plane trees (*Plantanus orintalis* L.) grown in green space of Isfahan city, I: leaf mineral concentration. *Journal of Water and Soil Science*, *20*(76). In Persian.

Lakzian, A., Feiziasl, V., Tehranifar, A., Halajnia, A., Rahmani, H., Pakdel, P., ... & Talebi, A. (2013). Evaluation of dieback and early yellowing of sycamore trees (*Platanus* sp.) in Mashhad by using GGE biplot analysis. *Journal of Horticultural Science*, *27*, 259-274. In Persian.

Mengel, K. (1994). Iron availability in plant tissues-iron chlorosis on calcareous soils. *Plant and Soil*, *165*, 275-283.

Mirsoleimani, A., & Tafazoli, E. (2006). Effect of nutrient solution ph on the absorption of iron in four cultivars of grape. *Pajouhesh Sazandegi*, *71*, 12-18. In Persian.

Mortvedt, J. J. (1991). Correcting iron deficiencies in annual and perennial plants: Present technologies and future prospects. *Plant and Soil*, *130*, 273-279.

Movahhedi Dehnavi, M., & Jalil Sheshbahre, M. (2016). Improving soybean leaf physiological responses under drought stress by increasing seed zinc and iron concentration. *Journal of Plant Process and Function, 5(18),* 13-22. In Persian.

Nikbakht, A., Sheykhan, A., & Akhbarfar, G. (2022). The effect of different sources of iron on improving the growth and condition of plantain leaf chlorosis (*Platanus orientalis* L.) by trunk injection in urban landscape. *Journal of Plant Process and Function*, *11*(50), 213-230. In Persian.

Niu, G., Rodriguez, D. S., & Aguiniga, L. (2007). Growth and landscape performance of ten herbaceous species in response to saline water irrigation. *Journal of Environmental Horticulture*, *25*(4), 204-210.

Öncel, I., Keleş, Y., & Üstün, A. S. (2000). Interactive effects of temperature and heavy metal stress on the growth and some biochemical compounds in wheat seedlings. *Environmental Pollution*, *107*(3), 315-320.

Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R. (1986). *Methods of Soil Analysis. Part II: Chemical and Microbial Properties*. 2nd Edition. ASA (American Society of Agronomy and Soil Science Society of America), ASA, SSSA, Madison, Wisconsin USA, p. 1159.

Peryea, F. J., & Kammereck, R. (1997). Use of Minolta SPAD-502 chlorophyll meter to quantify the effectiveness of mid-summer trunk injection of iron on chlorotic pear trees. *Journal of Plant Nutrition*, *20*(11), 1457-1463.

Saleh, J. (2008). Yield and chemical composition of'Piarom'date palm as affected by levels and methods of iron fertilization. *International Journal of Plant Production*, *2*(3), 207-214.

Spinelli, F., Fiori, G., Noferini, M., Sprocatti, M., & Costa, G. (2009). Perspectives on the use of a seaweed extract to moderate the negative effects of alternate bearing in apple trees. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, *84*(6), 131-137.

Torab Ahmadi, S., Abedy, B., & Saber Ali, S. F. (2019). Evaluation of some quantitative and qualitative characteristics of Pistachio plant in Response to amino acid compounds and seaweed extract. *Journal of Agriculture Science and Sustainable Production*, *29*(4), 189-204. In Persian.

Wallace, G. A., & Wallace, A. (1986). Correction of iron deficiency in trees by injection with ferric ammonium citrate solution. *Journal of Plant Nutrition*, *9*(3-7), 981-986.

Iranian Journal of Horticultural Science and Technology 24 (3): 387-402 (2023)
Research article

The Physiological and Photosynthetic Responses of Plane Trees (*Platanus orientalis* L.) to Trunk Injection with Iron Compounds and Seaweed Extract (*Ascophyllum nodosum*) Under Summer Stressful Conditions in Isfahan

Ghasem Akhbarfar, Ali Nikbakht* and Nematollah Etemadi
Department of Horticulture, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran
* Corresponding Author, Email: (anikbakht@cc.iut.ac.ir)

Leaf chlorosis and early leaf loss disturb the growth of plane trees in the urban landscape of Iranian cities. The present experiment was conducted to study the effect of trunk injection using the low-pressure Fertinyect endotherapy system with iron sources and seaweed extract for reducing leaf chlorosis of plane trees compared to soil application of iron sequestrone in the randomized complete block design with 3 replications. The experimental treatments included the injection of iron amino chelate, iron gluconate, iron citrate, and iron sulfate in combination with seaweed extract compared to the soil application of iron sequestrone and the control. Chlorophyll content, leaf iron, Fv/Fm ratio, leaf relative water content, stomatal carbon dioxide, photosynthesis, transpiration rate, water use efficiency and tree visual quality were evaluated. The iron amino chelate 4% + seaweed extract 2% and iron gluconate 4% + seaweed extract 2% compared to other treatments led to the most significant increase in leaf chlorophyll, iron content, leaf relative water content, Fv/Fm ratio, tree visual quality, and the improvement of the photosynthetic parameters. In general, trunk injection with iron in combination with seaweed extract was beneficial due to the effect of iron on chlorophyll synthesis, and growth stimulation by seaweed extract.

Keywords: Iron, Trunk injection, Seaweed extract, Leaf chlorosis.