مقاله پژوهشی

تأثیر منابع مختلف آهن بر بهبود رشد و وضعیت کلروز برگی چنار (*Platanus orientalis* L.) به روش تزریق تنه در فضای سبز

علی نیکبخت*، ابوالفضل شیخان و قاسم اخبارفر

گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

(تاریخ دریافت:۱۴۰۰/۰۸/۲۹، تاریخ پذیرش نهایی:۱۴۰۰/۱۲/۰۳)

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر تیمارهای مختلف آهن در رفع کلروز و بهبود رشد درختان چنار، آزمایشی فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی و با سه تکرار با استفاده از روش تزریق تنه اجرا شد. تیمارهای مورد استفاده در آزمایش شامل منابع مختلف آهن (آمینوکلات آهن، گلوکونات آهن، سیترات آهن، سولفات آهن) و غلظت آهن (صفر، ۰/۱، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ درصد) بود. صفات مورد اندازه‌گیری شامل رنگیزه‌های فتوسنتزی، میزان عنصر آهن، فلورسانس کلروفیل، میزان پروتئین برگی، شاخص کیفیت ظاهری، محتوای آب نسبی برگ، میزان نشت الکترولیتی برگ درخت بود. نتایج آزمایش نشان داد که تیمارهای آمینوکلات آهن و گلوکونات آهن در سطح ۰/۷۵٪ و ۱٪ در مقایسه با سایر تیمارهای آزمایش در اغلب صفات مورد اندازه‌گیری بیشترین تأثیر مثبت معنی‌دار را دارا بودند. تیمارهای آمینوکلات آهن و گلوکونات آهن با افزایش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی سبب بهبود وضعیت ظاهری درخت چنار شد. همچنین افزایش غلظت آهن مورد استفاده در هر تیمار در اغلب صفات، سبب بهبود صفت‌های مورد اندازه‌گیری شد. براساس نتایج اثرات متقابل تیمار آمینوکلات آهن با غلظت ۱ درصد بیشترین اثر مثبت معنی‌دار را نسبت به تیمار شاهد در اغلب صفات نشان داد. بنابراین برای بهبود صفات مختلف در درختان چنار استفاده از روش تزریق تنه با استفاده از تیمارهای آمینوکلات آهن به‌دلیل اثرات مثبت آمینو اسیدهای به‌کاررفته در سنتز آمینوکلات آهن در تحریک بیوسنتز کلروفیل و جلوگیری از تخریب کلروفیل در شرایط نامساعد محیطی توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آهن، تزریق تنه، رنگیزه‌های فتوسنتزی، کلروز برگی، کیفیت ظاهری

مقدمه

درخت چنار معمولی ایران با نام علمی (*Platanus orientalis* L.) از خانوادهٔ Platanaceae است. گونه‌های مختلفی از درختان چنار تقریباً در تمام مناطق جهان وجود دارند و به خوبی خود را با شرایط مختلف آب‌وهوایی تطبیق داده‌اند. درخت چنار بومی ایران، از نوع چنارهای شرقی است ولی درخت چناری که در اروپا کاشته می‌شود، چنار لندنی (*Platanus* × *acerifolia*) و یا چنار غربی (*Platanus occidentalis*) است (صاحب‌زاده، ۱۳۹۶). چنار از گونه‌های درختی بومی نیمکره شمالی است. آنها تنها اعضای زنده خانواده Platanaceae هستند. تمام اعضای این خانواده ارتفاع بلندی دارند و از ارتفاع ۳۰ تا ۵۰ متر برخوردار هستند. بجز گونه *Platanus kerrii* بقیه خزان‌کننده و بیشتر آنها در مناطق ساحلی و تالابی یافت می‌شوند. چنار لندن یا اروپایی (*Platanus* × *acerifolia*) به‌خصوص در تحمل شرایط شهری بسیار مناسب است و در لندن و نقاط دیگر انگلستان رشد

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: anikbakht@iut.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.13.8]

می‌کند (عالی‌پور، ۱۳۹۲ و ورشابساز کوشکی، ۱۳۹۵). درخت چنار در هوای معتدل و کمی سرد نظیر ارتفاعات البرز و شمیرانات رشد خوبی دارد. چنار بسیار آب‌دوست است و در مکان‌های که جوی آب از کنار آن می‌گذرد و تهویه ریشه آن به‌خوبی صورت می‌گیرد رشد سریعی دارد. درخت چنار در تهران، سرمای خشک تا حدود ۲۱- درجه سانتی‌گراد و گرمای تا حدود ۴۲+ درجه سانتی‌گراد را تحمل می‌کند (لکزیان و همکاران، ۱۳۹۲). وجود درختان چنار کهنسال در اغلب خیابان‌های شهرهایی نظیر تهران، اصفهان، محلات، خوانسار، بروجرد، خرم‌آباد، نجف آباد و غیره بیانگر قدمت تاریخی استفاده از این درخت در ایجاد فضای سبز شهری است (صاحب‌زاده، ۱۳۹۶ و عالی‌پور، ۱۳۹۲). یکی از مشکلات و مسائل درختان چنار، مرگ زودرس آنها است. پژوهش‌ها و همچنین تجربه‌های کارشناسان فضای سبز عوامل مختلفی از جمله تنش آبی (ورشابساز کوشکی، ۱۳۹۵)، اختلالات تغذیه‌ای (Alhendawi *et al.*, 1997)، فشردگی و تهویه نامناسب خاک (ورشابساز کوشکی، ۱۳۹۵)، وجود لایه نفوذناپذیر در عمق خاک (ورشابساز کوشکی، ۱۳۹۵)، تراکم بالای درختان و کاشت درختان با فاصله کم و نامنظم (رضایی و همکاران، ۱۳۸۶)، آلودگی هوا (صاحب‌زاده، ۱۳۹۶)، تغییرات اقلیمی شدید، حمله آفات و بیماری‌ها و آلودگی‌های شهری (کلباسی و یزدان‌پناه، ۱۳۷۵؛ Alhendawi *et al.*, 1997) را در ایجاد این نابسامانی فیزیولوژیک مؤثر دانسته‌اند. آهن جز اولین عناصر ریزمغذی کشف‌شده ضروری برای حیات گیاه است. تقریباً کل آهن در سیستم گیاهان در کلروپلاست‌ها و اندامک‌هایی که وظیفه فتوسنتز را بر عهده دارند قرار دارد (شهابی و ملکوتی، ۱۳۸۱)، همچنین آهن در سیتوپلاسم و سایر اندامک‌های سلولی که حاوی پروتئین‌های گوگرد اضافی هستند توزیع می‌شود (Banuls *et al.*, 2003). در گیاهان، آهن در سنتز کلروفیل نقش دارد و برای حفظ ساختار و عملکرد کلروپلاست، فتوسنتز، تنفس و تثبیت نیتروژن ضروری است و در فعال‌سازی آنزیم و انتقال الکترون نقش دارد (Mortvedt, 1991; Barker and Pilbeam, 2015).

آهن به‌عنوان یک فعال‌کننده آنزیم یا کوفاکتور در سنتز کلروفیل عمل می‌کند و چندین آنزیم دیگر از جمله کاتالاز، پراکسیداز، نیترات ردوکتاز و نیتروژناز را فعال می‌کند. آهن نقش مهمی در سنتز پروتئین دارد همچنین در یک سری فعالیت‌های متابولیک در آنزیم‌های تنفسی و واکنش‌های فتوسنتزی نیز نقش دارد. آهن در سنتز DNA از طریق عمل ردوکتاز ریبونوکلئوتید بسیار اهمیت دارد (ملکوتی و طهرانی، ۱۳۷۹). آهن همچنین یک عامل مؤثر در تولید بسیاری از آنزیم‌ها است که برای سنتز هورمون‌های گیاهی مانند اتیلن، ۱- آمینوسیکلوپروپان اسید-۱- کربوکسیلیک اکسیداز یا اسید آبسیزیک ضروری هستند. آهن ترکیب‌کننده تمام سیستم‌های ریداکس است (ملکوتی، ۱۳۷۸؛ Parthier, 1989; Baillon *et al.*, 1988). کلروز یا کمبود آهن در گیاهان از مهمترین اختلالات تغذیه‌ای است که در خاک‌های آهکی و شنی در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا رواج دارد و باعث از بین‌رفتن عملکرد اقتصادی در بسیاری از محصولات می‌شود (Balakrishnan *et al.*, 2000; Earl and Davis, 2003). گیاهانی که دچار کلروز آهن هستند زردی مشخصی در برگ‌های جوان آنها ظاهر می‌شود زیرا قادر به تولید کلروفیل کافی نیستند. این گیاهان به‌دلیل نداشتن کلروفیل کافی عمل فتوسنتز را به‌طور کامل انجام نداده و درنتیجه رشد و عملکرد آنها کاهش می‌یابد (میرسلیمانی و تفضلی، ۱۳۸۵؛ Anderson, 1982). در بعضی از گونه‌ها ممکن است استفاده از ارقام آهن‌کارا، مناسب‌ترین روش جهت رفع کلروز آهن باشد (رئیسی و شهابی، ۱۳۸۰).

روش‌های متداولی برای مصرف کود و محلول‌های غذایی وجود دارد که شامل مخلوط‌کردن با خاک، کودآبیاری، محلول‌پاشی، چالکود و غیره است که هر کدام دارای محدودیت‌هایی هستند. روش محلول‌پاشی موجب گیاه‌سوزی، پراکنده‌شدن محلول در هوا، جذب کمتر کود از طریق اندام‌های هوایی می‌شود (Swietlik *et al.*, 1984). در روش مصرف خاکی، تثبیت، شستشو و اثر متقابل بعضی از عناصر غذایی موجب کاهش جذب شده، همچنین اثرات نامطلوب

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.13.8]

محیطی مثل آهک زیاد، عدم‌تهویه کافی در بعضی از باغ‌ها به‌دلیل آبیاری زیاد موجب ایجاد اختلال در جذب می‌شوند و همچنین گستردگی زیاد ریشه‌ها در حجم وسیعی از خاک موجب عدم‌امکان رساندن تمام کود مصرف‌شده به ریشه‌ها و درنهایت آلودگی خاک می‌شود (حسینی‌فرهی و همکاران ۱۳۸۸؛ Oncel *et al*., 2000; Fernandez-Escobar *et al*., 1993).

در طول سالیان گذشته تحقیقات زیادی برای تعیین اقتصادی‌ترین و کاراترین روش رفع کمبود آهن انجام شده است اما تاکنون هیچ فناوری وجود نداشته که از نظر اقتصادی و در همه شرایط موفقیت‌آمیز باشد. در واقع موفقیت یا عدم موفقیت هر روشی را سیاست‌های مدیریتی منطقه و نوع مشکل تعیین می‌کنند. در مورد درختان مورد پژوهش، ارتفاع زیاد درخت و گستردگی تاج عملاً روش محلول‌پاشی را غیرممکن می‌کرد. همچنین حجم وسیع خاک در برگیرنده ریشه نیز روش درمان خاکی را تا حد زیادی با مشکل و هزینه زیاد مواجه می‌کرد (Wallace and Wallace, 1986). بنابراین روش تزریق مستقیم مواد غذایی در تنه درختان به‌عنوان تنها راهکار مؤثر بر وضعیت موجود درختان عنوان می‌شود (رئیسی و شهابی، ۱۳۸۰).

درون‌درمانی (تزریق عناصر غذایی) روش جدیدی است که در آن حجم کمتری از عناصر غذایی با حداقل تلفات و خسارت‌های زیست‌محیطی، به‌کاررفته و تمام مواد تزریق‌شده نیز وارد گیاه می‌شود. این روش دارای مزایایی از قبیل کاربرد آسان، ایمن، اقتصادی و عدم نیاز به وسایل مخصوص است (Fernandez-Escobar *et al*., 1993 و رئیسی و شهابی، ۱۳۸۰). درون‌درمانی با غلظت‌های مختلف آهن اثر معنی‌داری بر میزان کلروفیل، غلظت آهن، مس، منگنز وکلسیم موجود در برگ درختان چنار که دچار کمبود آهن بودند، نشان داد (رضایی و همکاران، ۱۳۸۶). همچنین در مطالعه اثرات منابع مختلف آهن بر درختان زیتون و هلو با استفاده از سیستم مشابه مورد استفاده در این آزمایش با استفاده از کپسول‌های کم فشار مشاهده شد که تمام منابع آهن در مقایسه با تیمار شاهد میزان کلروفیل برگی را افزایش دادند که بیشترین تأثیر مثبت مربوط به تیمارهای تزریق تنه سولفات آهن بود(Fernandez-Escobar *et al*., 1993). در درخت خرما با استفاده از روش‌های مختلف نظیر کاربرد خاکی و تزریق تنه سولفات آهن به بررسی اثر آهن بر عملکرد خرما پرداخته شد. نتایج نشان داد بیشترین عملکرد مربوط به تزریق تنه سولفات آهن بود و در مقایسه با کاربرد خاکی این عنصر به‌طور معنی‌داری عملکرد را افزایش داد (Saleh, 2008). همچنین در خرمای رقم کبکاب مشاهده شد که استفاده از منابع پتاسه در روش تزریق تنه در مقایسه با کاربرد خاکی و محلول‌پاشی این عنصر مؤثرتر بوده و بیشترین عملکرد و کیفیت میوه را نشان داد (Abdi and Hedayat, 2010). با توجه به تغییر شرایط اقلیمی که موجب اختلالات رشدی در گیاهان موجود در فضای سبز شهری به‌خصوص درختان چنار شده است و نتایج تحقیقات پیشین که روش تزریق تنه عناصر غذایی را در مقایسه با کاربرد خاکی و محلول‌پاشی روشی سریعتر و مؤثرتر گزارش کرده‌اند، این آزمایش با هدف تزریق منابع مختلف آهن به درختان چنار برای بهبود سریعتر و رشد و رفع کلروز برگی این درختان در فضای سبز شهری انجام شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش حاضر به‌منظور تعیین تأثیر استفاده از غلظت‌های مختلف آهن به روش تزریق تنه جهت رفع کلروز و بهبود رشد درختان چنار در سال ۱۳۹۷–۱۳۹۸ در مزرعه لورک دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان واقع در جاده فولادشهر با مشخصات طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۵۳ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۷۱ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۶۱۰ متر از سطح دریا طرح‌ریزی و به مرحله اجرا در آمد. برای اجرای این طرح، تعداد ۷۲ اصله درخت چنار با شرایط سنی و ویژگی‌های رویشی مشابه با سن حدوداً ۲۵ ساله با ارتفاع ۶ الی ۸ متر و قطر تنه ۱۷ الی ۲۰ سانتی‌متر که در یک زمان کاشته شده‌اند انتخاب و در سه بلوک آزمایشی تقسیم شدند. پس از نصب پلاک‌های شناسایی با استفاده از دریل

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.13.8]

شارژی و سر مته ۶ میلی‌متری به طول ۱۰ سانتی‌متر سوراخ‌هایی به عمق ۳-۴ سانتی‌متر در ارتفاع یک متری تنه ایجاد شد. سپس رابط‌های پلاستیکی درون سوراخ‌های ایجاد شده روی تنه مستقر و کپسول‌های لاتکس حاوی محلول‌های تغذیه روی رابط‌ها جهت تخلیه محلول‌ها به درون آوند چوبی نصب شدند. پس از استقرار رابط‌ها به درخت و اتصال کپسول‌ها به آن، محلول‌ها تحت فشاری در حدود ۶۰ تا ۸۰ کیلو پاسکال، از آن خارج شده و درون آوندهای چوبی فعال تزریق شدند. توزیع محلول تزریقی، اثر عمق سوراخ ایجاد شده و تعداد تزریق در هر درخت در آزمایشی مورد بررسی قرار گرفته و بهترین روش انتخاب شد. طرح آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی در سه بلوک که در هر بلوک تیمارهای آزمایش شامل دو فاکتور آزمایش است که، فاکتور اول ۴ منبع آهن (سولفات آهن (شاهد)، سیترات آهن، گلوکونات آهن و آمینوکلات آهن) و فاکتور دوم ۶ غلظت منابع آهن (صفر به‌عنوان شاهد، ۰/۱، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱٪) بود. تیمارهای درون درمانی در یک نوبت در اوایل اردیبهشت‌ماه سال ۱۳۹۷ بر روی درختان چنار انجام گرفت. حجم محلول تزریقی هر کپسول ۱۵۰ میلی‌لیتر و برای کلیه تیمارها ثابت بود. تیمار شاهد شامل ۱۵۰ میلی‌لیتر آب‌مقطر بود. تمام درختان حاضر در آزمایش از لحاظ سنی برابر بوده و عملیات داشت از جمله مراقبت‌های زراعی به صورت یکسان بر روی تمام درختان اعمال شده است. سه ماه پس از آغاز پژوهش در زمان بروز علائم کلروز و خزان در اواخر تیرماه و مردادماه از برگ‌های توسعه‌یافته و رشد کرده سال جاری جهت اندازه‌گیری شاخص‌های آزمایش استفاده شد.

شاخص‌های اندازه‌گیری‌شده در آزمایش، رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل و کارتنوئید برگی): برای اندازه‌گیری میزان غلظت کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئید ۲۰۰ میلی‌گرم وزن تر برگ که از چهار طرف درخت و از اواسط شاخه‌ها

نمونه‌برداری و مخلوط شده بود به دقت توزین و در داخل هاون چینی با ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد خوب ساییده شد. سپس عصاره‌های حاصل درون فالکون‌های ۱۰ میلی‌لیتری سانترفیوژ شدند. فاز فوقانی محلول جهت اندازه‌گیری کلروفیل و کاروتنوئید با دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل Shimadzu UV-160A ساخت ژاپن) در طول‌موج‌های ۶۴۵، ۴۷۰ و ۶۶۳ نانومتر بر حسب میلی‌گرم در گرم بافت استفاده شد (Arnon, 1949).

A بیانگر جذب در طول‌موج ویژه و V حجم نهایی کلروفیل در استون ۸۰ ٪ است.

$$Chla = [12.7(A_{663}) - 2.69(A_{645})]\times V/W\times 1000$$
$$Chlb = [22.9(A_{645}) - 4.68(A_{663})]\times V/W\times 1000$$
$$Chltotal = [20.2(A_{645}) + 8.02(A_{663})]\times V/W$$
$$Car = [1000\times(A_{470}) - 1.8\times Chla - 85.02\times Chlb]/198$$

شاخص فلورسانس کلروفیل: کلروفیل فلورسانس Fv/Fm با استفاده از دستگاه سنجش فلورسانس کلروفیل مدل (Handytech instrument) اندازه‌گیری شد.

آماده‌سازی نمونه و اندازه‌گیری میزان عنصر آهن: برای اندازه‌گیری عناصر در گیاه به روش خاکسترگیری خشک یک گرم از نمونه گیاهی آسیاب‌شده به‌مدت دو ساعت در کوره الکتریکی تحت حرارت ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به خاکستر تبدیل شد. سپس به هر نمونه ۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۲ نرمال افزوده و با حرارت‌دادن، مواد خاکسترشده در اسید حل شدند. در ادامه محلول تهیه‌شده را از کاغذ صافی واتمن عبور داده و عصاره در بالن ژوژه جمع‌آوری و با آب‌مقطر به حجم ۱۰۰ سی‌سی رسید. میزان عناصر آهن محلول با دستگاه جذب اتمی (atomice absorbation) (مدل Perkin Elmer AA3030) خوانده شد (Page *et al.*, 1982).

محتوای پروتئین برگی: برای اندازه‌گیری غلظت پروتئین به روش (Bradford, 1976) ابتدا مقدار ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره گیاهی استخراج‌شده را به ۵ میلی‌لیتر از معرف بردفورد اضافه کرده پس از گذشت حداقل ۲ دقیقه از این اختلاط، میزان جذب آن در طول‌موج ۵۹۵ نانومتر اندازه‌گیری و بر-اساس مقایسه با منحنی استاندارد غلظت پروتئین آلبومن گاوی برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ گزارش شد.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.13.8]

اندازه‌گیری میزان قند و نشاسته به روش تغییر داده شده (Kang *et al.*, 2009; Sheligl, 1986): ۰/۱ گرم از نمونه برگی را درون فالکون ریخته و ۱۵ میلی‌لیتر اتانول ۸۰٪ گرم شده را به نمونه‌ها اضافه کرده و پس از ورتکس به‌مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. ۲۰ ماکرولیتر از محلول استخراج‌شده با ۸۰ ماکرولیترآب‌مقطر و ۲/۵ میلی‌لیتر معرف آنترون (۱۵۰ میلی‌گرم معرف آنترون در ۱۰۰ میلی‌لیتر سولفوریک اسید ۷۱/۷۰ درصد) ترکیب و محلول حاصل به‌مدت ۱۵ دقیقه در بن‌ماری با دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد. مقدار جذب نمونه‌ها پس از خنک‌شدن بر روی یخ در طول‌موج ۶۲۰ نانومتر با استفاده از اسپکتروفوتومتر خوانده شد. جهت تعیین معادله استاندارد، استانداردهای قند در طول‌موج ۶۲۰ نانومتر قرائت، و منحنی استاندارد رسم شد. سپس با استفاده از میزان جذب نمونه‌های گیاهی و با قراردادن در معادله خط مقدار قند بدست آمد. همچنین برای اندازه‌گیری میزان نشاسته در این روش بقایای باقی‌مانده پس از استخراج قند محلول جهت حذف قند چندین بار با آب‌مقطر شسته و در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد خشک شد. ۲ میلی‌لیتر آب‌مقطر به نمونه‌ها اضافه شد و به‌مدت ۳۰ دقیقه در بن‌ماری قرار داده شد تا نشاسته آزاد شود. سپس ۲ میلی‌لیتر اسید پرکلریک ۵۲ درصد به آن اضافه شد. پس از اضافه‌کردن ۶ میلی‌لیتر آب‌مقطر محلول به‌مدت ۲۰ دقیقه در ۴۰۰۰ دور سانتریفیوژ و محلول رویی درون فالکون‌ها ریخته شد. مرحله قبل دوبار تکرار شد، پس از آن محلول روی با ۵۰ میلی‌لیتر آب‌مقطر به حجم رسانده شد و از کاغذ صافی عبور داده شد. سپس ۱ میلی‌لیتر عصاره و ۱ میلی‌لیتر آب‌مقطر و ۵ میلی‌لیتر معرف آنترون با هم ترکیب و به‌مدت ۱۵ دقیقه در بن‌ماری قرار گرفت. سپس از ده دقیقه خنک‌شدن در مکان تاریک میزان جذب در طول‌موج ۶۲۰ نانومتر خوانده شد.

محتوای نسبی آب برگ به روش (Cherki *et al.*, 2002): جهت اندازه‌گیری این شاخص قطعات برگی با ترازوی حساس وزن شده و وزن آن‌ها به‌عنوان وزن تازه (FW) در نظر گرفته شد. سپس برگ‌ها به‌مدت ۲۴ ساعت درون پتری‌دیش حاوی آب‌مقطر و پس از آن وزن نمونه‌ها به‌عنوان وزن تورژسانس (TW) در نظر گرفته شد در مرحله بعد نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت درون آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. سپس وزن حاصل از آن‌ها به‌عنوان وزن خشک (DW) منظور گردید. میزان محتوای نسبی آب (برحسب درصد) از رابطه زیر محاسبه شد:

$$RWC = (FW-DW) / (TW-DW) \times 100$$

میزان نشت یونی: درصد نشت یونی با استفاده از روش تغییریافته اندازه‌گیری شد (Lutts *et al.*, 1996). پس از تهیه ۶ عدد دیسک ۱ سانتی‌متری از برگ و شستشو با آب‌مقطر، نمونه‌ها با ۱۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه درون فالکون به‌مدت ۲۴ ساعت روی شیکر مخلوط شدند. سپس هدایت الکتریکی (EC1) با استفاده از دستگاه سنجش هدایت الکتریکی (مدل CC-501) خوانده شد. بعد از این مرحله لوله‌های آزمایش به‌مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس اتوکلاو شدند. پس از رسیدن دمای نمونه‌ها به دمای آزمایشگاه دوباره هدایت الکتریکی نمونه‌ها، به‌عنوان هدایت الکتریکی نهایی (EC2) اندازه‌گیری شد و با استفاده از فرمول زیر درصد نشت یونی برگ اندازه‌گیری شد:

$$EL\% = (EC1/EC2) \times 100$$

شاخص کیفیت ظاهری: در زمان نمونه‌گیری از درختان بسته به میزان سبزینگی و سلامت هر درخت براساس روش ارائه‌شده توسط (Niu *et al.*, 2007) یک امتیاز از عدد ۱ تا ۱۰ داده شد، به‌صورتیکه عدد کمتر نمایانگر درختان با برگ‌های زرد و شاخه‌های سرخشکیده و عدد بالاتر نمایانگر درختان با برگ‌های کاملاً سبز و سالم و شاخه‌های سالم و در حال رشد بود نمونه‌برداری انجام شد.

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

نتایج و بحث

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.13.8]

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس صفات مورد اندازه‌گیری در درخت چنار تحت تیمار تزریق تنه با منابع آهن

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات										
		کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	فلورسانس کلروفیل	کارتنوئید	پروتئین	قند	نشاسته	آهن	محتوی آب نسبی	نشت الکترولیتی
تکرار	۲	۰/۰۰۲^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۲۹**	۰/۰۰۳^{ns}	۰/۰۲۷**	۰/۰۰۰۳^{ns}	۰/۲۲^{ns}	۲/۹۰**	۰/۲۹^{ns}	۱۱۲/۸۴*	۳۲۰/۶۹**
(A)	۳	۰/۰۳۵**	۰/۰۰۲*	۰/۰۷۲**	۰/۰۳۵**	۰/۰۱۵**	۰/۰۰۹۴**	۱/۱۶**	۵/۴۷**	۱/۵۶**	۱۱۲/۸۴*	۲۵۶/۷۵**
(B)	۵	۰/۱۵۰**	۰/۰۲۲**	۰/۳۸۹**	۰/۰۸۷**	۰/۰۸۷**	۰/۰۲۴۰**	۱۱/۷۲**	۱۵/۹۱**	۹/۶۲**	۱۳۴/۳۷*	۱۳۶۷/۳۱**
(B)×(A)	۱۵	۰/۰۰۳*	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۹**	۰/۰۰۲^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۱۴**	۰/۲۴^{ns}	۱/۱۰**	۰/۱۸^{ns}	۱۱۴۴/۵۷**	۱۴/۱۳**
خطا	۴۶	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۴	۰/۱۵	۰/۱۹	۰/۱۳	۱۶/۶۲^{ns}	۰/۰۱
(C)	(٪)	۹/۴۳۱	۱۱/۰۳۳	۸/۹۷۰	۵/۳۱۸	۱۳/۲۸۹	۱۳/۷۳۷۵	۱۱/۳۱	۱۳/۰۸	۱۳/۵۶	۳۲/۵۲	۰/۰۱

^{ns}: نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار، **: معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و *: معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد

منابع آهن (A)، غلظت آهن (B)، ضریب تغییرات (C)

با بررسی نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل از آزمایش دریافتیم که اثرات متقابل منابع و غلظت‌های مختلف آهن بر شاخص‌های کلروفیل کل، پروتئین، نشاسته، محتوای آب نسبی و نشت الکترولیتی در سطح احتمال ۱ درصد و بر شاخص کلروفیل a در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). اثر متقابل فاکتورهای آزمایش بر سایر شاخص‌های آزمایش اختلاف معنی‌دار نشان نداد. همچنین نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده تزریق منابع و غلظت‌های مختلف آهن بر صفات فلورسانس کلروفیل، کارتنوئید، میزان قند، مقدار آهن و کیفیت ظاهری درخت در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود، درحالیکه اثر ساده منابع آهن بر شاخص کبروفیل b در سطح احتمال ۵ درصد و اثر ساده غلظت‌های مختلف آهن بر شاخص کلروفیل b در سطح احتمال درصد معنی‌دار شد.

رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئید برگی): براساس نتایج مقایسه میانگین داده-های اثرات متقابل مشخص شد که در شاخص کلروفیل a تیمار ۱ درصد گلوکونات آهن (۰/۷۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و در شاخص کلروفیل کل تیمار ۱ درصد آمینوکلات آهن (۴/۷۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) بیشترین میزان این دو شاخص را نشان داد. کمترین مقدار این شاخص‌ها نیز مربوط به تیمار شاهد بود که در مقایسه با سایر تیمارها اختلاف معنی-دار داشت (جدول ۲). همچنین مقایسه میانگین اثرات ساده کلروفیل b و کارتنوئید برگی نشان داد که در اثر ساده منبع آهن برای هر دو شاخص کلروفیل b و کارتنوئید بیشترین میزان مربوط به تیمار آمینوکلات آهن بود .هر چند که بین گلوکونات آهن و آمینوکلات آهن از نظر آماری اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در اثر ساده غلظت‌های آهن تیمار شده در هر دو شاخص کلروفیل b و کارتنوئید برگی غلظت ۱ درصد آهن بالاترین مقدار این دو شاخص را نشان داد در حالی در این دو شاخص کمترین مقدار مربوط به تیمار شاهد بود (شکل ۱ و ۲). آهن از عناصر ضروری جهت رشد تمام گیاهان است و در صورت کمبود آن سنتز کلروفیل دچار مشکل شده و زردی یا کلروز برگ به وجود می‌آید و در ادامه شدت‌یافتن کلروز آهن برگ‌ها سفید رنگ و سپس حاشیه برگ‌ها سوخته یا نکروزه می‌شوند (ملکوتی و طهرانی، ۱۳۷۹). بیشتر مطالعات نشان داده‌اند که تحت شرایط نامساعد محیطی کاهش میزان فتوسنتز با اختلال در واکنش‌های بیوشیمیایی همراه است. فتوسیستم II بسیار حساس به عوامل بازدارنده محیطی است و تنش‌های محیطی موجب خسارت به مرکز واکنش فتوسیستم II می‌شود (DeEll and Toivonen, 2003). همچنین افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز طی تنش‌ها و شرایط نامناسب محیطی می‌تواند عامل کاهش میزان کلروفیل در طی تنش باشد. از آنجا که کاروتنوئیدها عمدتاً در ارتباط با مراکز

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.13.8]

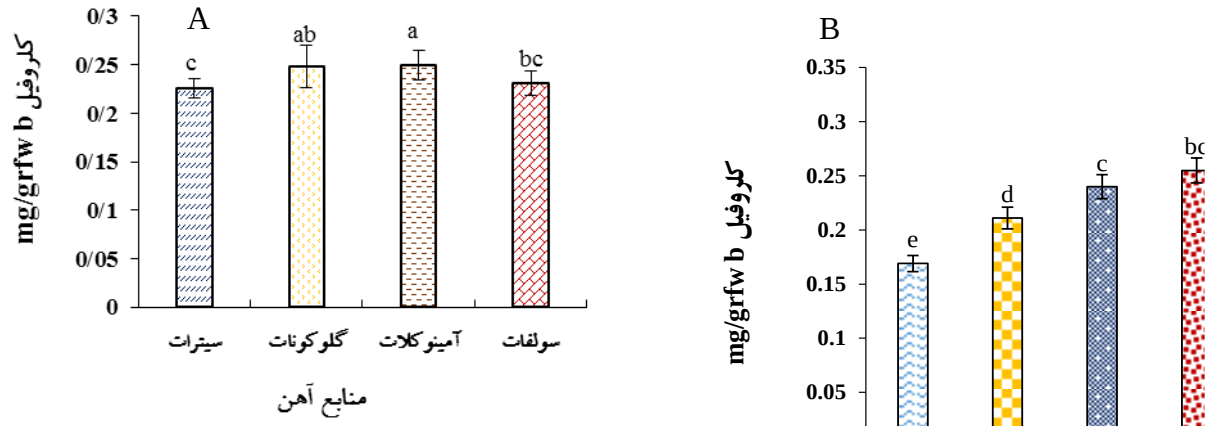
جدول ۲- مقایسه میانگین اثرات متقابل شاخص‌های مورد اندازه‌گیری با تیمار تزریق تنه عنصر آهن به درخت چنار

منابع آهن	غلظت آهن	کلروفیل a	کلروفیل کل	پروتئین	نشاسته	محتوای آب نسبی برگ	نشت الکترولیت
		(mg/grfw)				(٪)	
سیترات	۰	۰/۲۷^{g}	۰/۳۶^{h}	۰/۰۸^{g}	۱/۹۵^{l}	۵۵/۸۱^{ij}	۵۶/۹۷^{a}
	۰/۱	۰/۳۳^{fg}	۰/۴۰^{h}	۰/۱۳^{fgh}	۲/۷۰^{ijk}	۶۴/۱۸^{ghi}	۴۵/۵۷^{c}
	۰/۲۵	۰/۴۶^{de}	۰/۶۷^{ef}	۰/۱۳^{fgh}	۲/۹۲^{ghij}	۶۷/۸۹^{efgh}	۴۰/۸۱^{f}
	۰/۵	۰/۴۶^{de}	۰/۶۸^{ef}	۰/۱۴^{efgh}	۳/۱۳^{fghij}	۷۲/۴۳^{cdefg}	۳۲/۳۷^{n}
	۰/۷۵	۰/۴۷^{de}	۰/۷۰^{def}	۰/۱۵^{efgh}	۳/۵۷^{cdefg}	۷۶/۱۳^{bcde}	۳۰/۶۱^{o}
	۱	۰/۴۹^{cde}	۰/۷۳^{cdef}	۰/۱۶^{defg}	۳/۸۳^{cdef}	۷۹/۴۶^{abcd}	۲۸/۱۳^{r}
گلوکونات	۰	۰/۳۱^{fg}	۰/۳۶^{h}	۰/۰۹^{ig}	۱/۹۶^{l}	۵۵/۸۱^{ij}	۵۶/۹۸^{a}
	۰/۱	۰/۴۴^{e}	۰/۶۴^{fg}	۰/۱۳^{fgh}	۲/۷۹^{hijk}	۶۲/۳۳^{hij}	۴۲/۷۲^{e}
	۰/۲۵	۰/۵۱^{bcde}	۰/۷۴^{bcdef}	۰/۱۵^{efgh}	۳/۰۲^{ghij}	۶۶/۲۹^{fgh}	۳۹/۰۸^{h}
	۰/۵	۰/۵۵^{bc}	۰/۷۹^{bcd}	۰/۱۶^{defg}	۳/۴۵^{cdefgh}	۷۱/۸۴^{cdefg}	۳۳/۳۷^{m}
	۰/۷۵	۰/۵۶^{bc}	۰/۸۱^{bc}	۰/۱۸^{de}	۳/۹۴^{cd}	۷۸/۷۴^{abcd}	۲۸/۶۵^{q}
	۱	۰/۷۰^{a}	۰/۹۸^{a}	۰/۲۵^{a}	۶/۵۸^{a}	۸۳/۴۴^{ab}	۲۵/۲۰^{t}
آمینوکلات	۰	۰/۲۶^{g}	۰/۳۶^{h}	۰/۰۸^{g}	۱/۹۵^{l}	۵۵/۸۱^{ij}	۵۶/۹۷^{a}
	۰/۱	۰/۴۴^{e}	۰/۶۴^{fg}	۰/۱۵^{efgh}	۲/۸۲^{hij}	۶۶/۰۲^{fgh}	۳۸/۷۷^{i}
	۰/۲۵	۰/۴۹^{cde}	۰/۷۱^{cdef}	۰/۱۷^{de}	۳/۳۱^{defghi}	۷۰/۴۹^{defgh}	۳۴/۳۷^{k}
	۰/۵	۰/۵۲^{bcd}	۰/۷۶^{bcde}	۰/۱۹^{cd}	۴/۰۵^{c}	۷۵/۱۰^{bcdef}	۳۰/۵۰^{p}
	۰/۷۵	۰/۵۷^{b}	۰/۸۳^{b}	۰/۲۳^{bc}	۴/۹۱^{b}	۸۰/۵۱^{abc}	۲۶/۹۴^{s}
	۱	۰/۶۷^{a}	۰/۹۹^{a}	۰/۲۹^{a}	۶/۷۷^{a}	۸۷/۳۸^{a}	۲۱/۷۰^{u}
سولفات	۰	۰/۲۹^{g}	۰/۳۶^{h}	۰/۰۹^{ig}	۱/۹۵^{l}	۵۵/۸۱^{ij}	۵۶/۹۷^{a}
	۰/۱	۰/۳۷^{f}	۰/۵۵^{g}	۰/۱۲^{hi}	۲/۰۹^{kl}	۵۴/۴۴^{j}	۴۹/۱۷^{b}
	۰/۲۵	۰/۴۷^{de}	۰/۶۷^{ef}	۰/۴۷^{de}	۲/۵۸^{jkl}	۶۱/۹۸^{hij}	۴۳/۹۷^{d}
	۰/۵	۰/۴۹^{cde}	۰/۷۲^{cdef}	۰/۱۵^{efgh}	۲/۹۰^{ghij}	۷۳/۰۷^{cdefg}	۴۰/۶۷^{g}
	۰/۷۵	۰/۵۲^{bcd}	۰/۷۶^{bcde}	۰/۱۷^{de}	۳/۱۶^{efghij}	۷۳/۵۱^{cdefg}	۳۸/۴۷^{j}
	۱	۰/۵۴^{bc}	۰/۷۴^{bcde}	۰/۱۷^{de}	۳/۸۸^{cde}	۷۶/۵۰^{bcde}	۳۴/۱۷^{l}

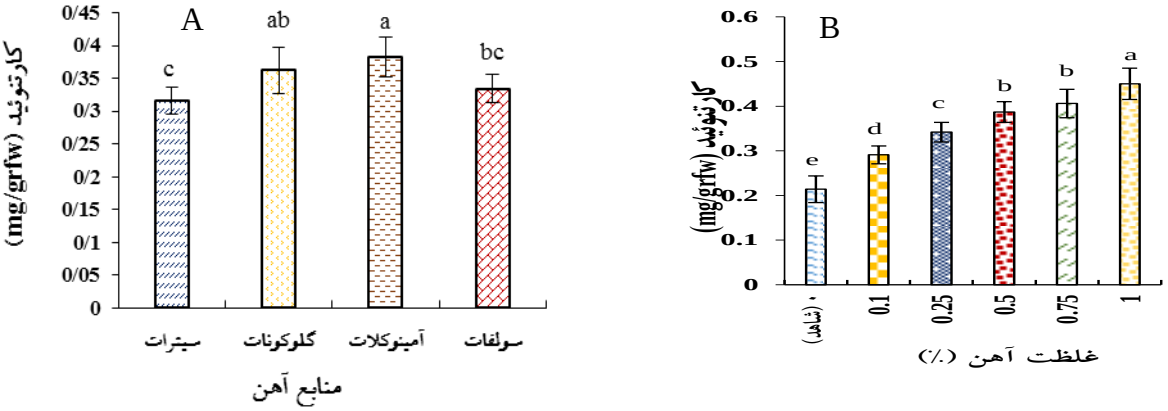
حروف مشابه در ستون اثر متقابل منابع و غلظت آهن از نظر آماری در سطح ۵ درصد اختلاف معنی¬داری ندارند.

فتوسنتزی یافت می‌شوند، انتظار از دست‌رفتن کاروتنوئیدها طی تنش‌های محیطی را داریم. به‌طور شاخص کلروفیل برگ که انعکاسی از شدت رنگ سبز آن است، ارتباط زیادی با وضعیت میزان آهن برگی دارد (Chen *et al.*, 2004). در درختان افرا مشاهده شد که مقدار آهن کل و شاخص میزان کلروفیل برگ به‌طور معنی‌داری با افزایش میزان آهن کاربردی افزایش یافت. به‌طوریکه یک همبستگی مثبت بین میزان آهن کل و شاخص کلروفیل برگ ملاحظه شد (Hurley *et al.*, 1986). در مطالعه مقایسه روش‌های کاربرد منابع مختلف آهن با استفاده از تزریق تنه و خاکی و چالکود مشاهده شد که

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.13.8]



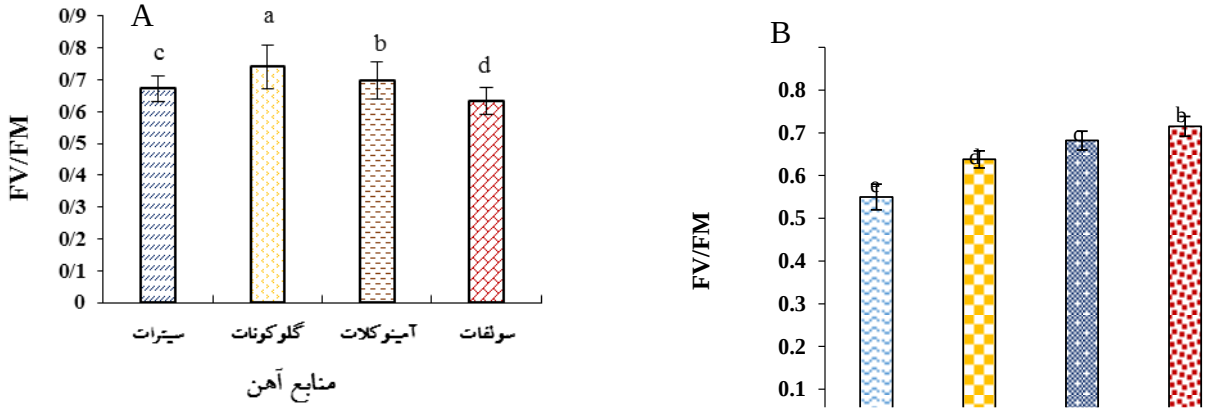
شکل ۱- نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی منبع (A) و غلظت آهن (B) بر صفت کلروفیل b. نمودارهای دارای حروف مشابه در تیمارهای منابع و غلظت آهن از نظر آماری در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.



شکل ۲- نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی منبع (A) و غلظت آهن (B) بر صفت کارتنوئید. نمودارهای دارای حروف مشابه در تیمارهای منابع و غلظت آهن از نظر آماری در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

تزریق تنه سولفات آهن در مقایسه با سایر تیمارها بیشترین تأثیر معنی‌دار را بر میزان عملکرد و سبزینگی درختان خرما در شرایط خاک‌های آهکی استان هرمزگان داشت (Saleh, 2008). در درختان ۲۰ ساله مرکبات تزریق سیترات آهن که محلول‌تر از سولفات آهن است میزان غلظت آهن برگ را به میزان ۵۰ درصد افزایش داد و رنگ برگ‌ها پس از یک هفته کاملاً سبز شد (Hurley *et al.*, 1986). تزریق تنه منابع آهن جهت کاهش کلروز گلابی نیز در مقایسه با آب‌مقطر سبب افزایش سبزینگی برگ شد. همچنین در مطالعه‌ای با استفاده از سیستم کم فشار مشابه سیستم تزریق استفاده شده در آزمایش حاضر جهت کنترل کلروز رقم مانزانیلای زیتون و هلو منابع آهن به تنه درخت تزریق شدند که تیمار ۰/۵ و ۱٪ سولفات آهن سبب بیشترین میزان سبزینگی و ترمیم کلروفیل برگی درختان موجود در آزمایش شد (Fernandez-Escobar *et al.*, 1993). در مطالعه کافی و نیکبخت (۱۳۸۵) مشاهده شد که تزریق تنه عناصر معدنی به‌خصوص آهن سبب بهبود وضعیت کلروفیل برگی و تأخیر در خزان زودرس برگ درختان چنار در شهرستان کرج شد. علاوه بر سولفات و سیترات آهن که قبلاً در مطالعات گوناگون استفاده شده است در پژوهش حاضر از منابع آمینوکلات آهن و گلوکونات آهن نیز استفاده شد که تأثیر بهتری در کنترل کلروز در مقایسه با حتی سولفات و سیترات آهن داشتند. آمینوکلات آهن کودی محلول بر پایه کمپلکس آمینواسیدهای طبیعی با آهن بوده که با توجه به اندازه کوچکتر این کمپلکس در مقایسه با میانگین اندازه منافذ ورودی دیواره

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.13.8]



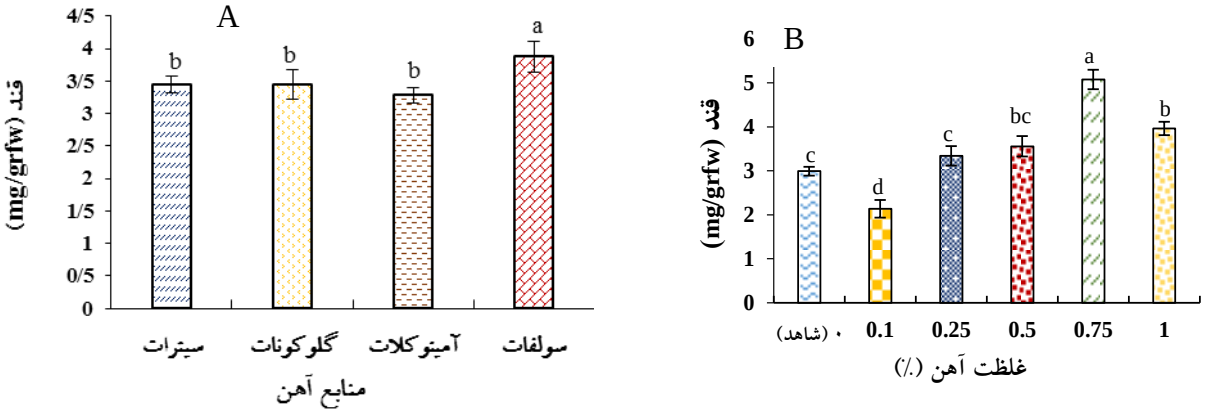
شکل ۳- نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی منبع (A) و غلظت آهن (B) بر صفت فلورسانس کلروفیل (FV/FM). نمودارهای دارای حروف مشابه در تیمارهای منابع و غلظت آهن از نظر آماری در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

سلول‌های گیاهی سرعت و مقدار جذب در مقایسه با سایر کلات‌های مصنوعی و منابع مختلف آهن بالاتر بوده و احتمالاً به‌دلیل بهره‌گیری از آمینواسیدها به رشد رویشی گیاه در شرایط تنشی کمک می‌کند. گزارش‌های متعددی از افزایش میزان کلروفیل برگی پس از کاربرد آهن به‌صورت محلول‌پاشی یا تزریق تنه وجود دارد که با نتایج آزمایش حاضر مطابقت دارد.

فلورسانس کلروفیل: نتایج مربوط به مقایسه میانگین داده‌های اثر ساده منابع آهن بر شاخص فلورسانس کلروفیل نشان داد که تیمار گلوکونات آهن (۰/۷۶) بالاترین میزان افزایش این شاخص را در مقایسه با تیمار سولفات آهن (۰/۶۴) نشان داد. از طرفی در اثر ساده غلظت‌های مختلف آهن، تیمار ۱ درصد سبب بیشترین افزایش معنی‌دار ۴۱/۵۰ ٪ شاخص فلورسانس کلروفیل در مقایسه با تیمار شاهد (۰/۵۵) شد. همچنین سایر غلظت‌های آهن در مقایسه با تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری میزان فلورسانس کلروفیل را افزایش داد (شکل ۳). مقدار فلورسانس کلروفیل، سالم‌بودن غشای تیالکوئید و کارآمدی نسبی انتقال الکترون را از فتوسیستم II به فتوسیستم I نشان می‌دهد. مقدار FV/FM نشان‌دهنده ظرفیت انتقال الکترون فتوسیستم II یعنی بیشترین کارایی یا عملکرد کوانتومی فتوسیستم دو در شرایط سازگارشده با تاریکی است، کاهش FV/FM عمدتاً بخاطر وقوع آشفتگی در کلروپلاست است و کاهش مقدار کلروفیل نیز این موضوع را تأیید می‌کند (Mengel *et al.*, 2006). زیرا فلورسانس کلروفیل به‌طور مستقیم با فعالیت کلروفیل در واکنش فتوسیستم‌ها ارتباط دارد و می‌توان از آن به‌عنوان معیاری برای اندازه‌گیری کارایی فتوسیستم نام برد (DeEll and Toivonen, 2003). براساس نتایج این پژوهش‌ها، کلروفیل فلورسنس به‌عنوان یک ابزار برای آزمایش سلامت گیاهان می‌تواند استفاده شود (Chen *et al.*, 2004; Hurley *et al.*, 1986). موحدی دهنوی و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که کاربرد توأم آهن و روی به‌صورت محلولپاشی میزان شاخص FV/FM را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش و اثر منفی تنش خشکی را کاهش داد که نتایج آزمایش حاضر را تأیید می‌کند (Dehnavi and Sheshbahre, 2017).

محتوای قند و نشاسته: در شاخص میزان قند نتایج مربوط به مقایسه میانگین اثر ساده منابع آهن نشان داد که تیمار سولفات آهن (۴۵/ ۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) بالاترین میزان قند را در مقایسه سایر تیمارها نشان داد. از طرفی در اثر ساده غلظت‌های مختلف آهن، بیشترین میزان قند مربوط به تیمار ۰/۷۵ درصد (۴/۹۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کمترین میزان این شاخص مربوط به تیمار ۰/۱٪ (۲/۲۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) بود (شکل ۴). همچنین در بررسی مقایسه میانگین داده‌های اثر متقابل محتوای نشاسته مشخص شد که بیشترین میزان نشاسته در تیمار ۱ درصد آمینوکلات آهن (۶/۷۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) مشاهده شد. البته بین غلظت ۱ درصد آمینوکلات آهن و ۱ درصد گلوکونات آهن از نظر آماری اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. تیمارهای سیترات آهن و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.13.8]



شکل ۴- نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی منبع (A) و غلظت آهن (B) بر صفت قند. نمودارهای دارای حروف مشابه در تیمارهای منابع و غلظت آهن از نظر آماری در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

سولفات آهن نیز در مقایسه با تیمار شاهد سبب افزایش معنی‌دار شاخص‌های اندازه‌گیری شد اما تیمارهای غلظت بالای آمینوکلات آهن و گلوکونات آهن بیشترین تأثیر معنی‌دار را بر شاخص‌های مورد اندازه‌گیری نشان دادند به‌طوریکه تیمارهای ۱ درصد گلوکونات آهن ۷۰/۳۶٪و آمینوکلات آهن ۷۱/۱۹٪میزان نشاسته برگی را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دادند (جدول ۱). براساس تحقیقات پیشین گزارش شده است که با کاربرد تیمارهای آهن جهت رفع کمبود آهن و کلروز برگ در درخت انگور، محتوای قندهای محلول برگی افزایش یافت که با نتایج آزمایش حاضر مبنی بر اثر تیمارهای آهن در مقایسه با تیمار شاهد مطابقت داشت (Chen *et al.*, 2004). همچنین در مطالعه دیگری در بررسی اثر کاربرد منابع مختلف آهن به روش‌های مختلف بر کیفیت و عملکرد خرما مشاهده شد که میزان قند میوه در مقایسه با شاهد افزایش یافت و بیشترین میزان قند میوه در کاربرد آهن به روش تزریق تنه به دست آمد (Saleh, 2008). از طرفی پس از کاربرد تیمار آهن جهت رفع کلروز برگی انگور در خاک‌های قلیایی مشاهده شد که میزان نشاسته برگی نیز در اثر افزایش کلروفیل برگی و بهبود سیستم فتوسنتزی در برگ‌های تحت تیمار آهن در مقایسه با شاهد افزایش معنی‌داری یافت که با نتایج آزمایش حاضر همسو بود (Chen *et al.*, 2004).

محتوای پروتئین برگی: نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌های اثر متقابل شاخص پروتئین برگی نشان داد که کاربرد تیمارهای منابع آهن و غلظت آهن سبب افزایش میزان پروتئین برگی شدند. بالاترین میزان این شاخص مربوط به تیمار آمینوکلات آهن ۱٪ (۰/۲۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) بود که در مقایسه با تیمار شاهد به میزان ۷۲/۴۱٪سبب افزایش پروتئین برگی شد. قابل ذکر است همانند اغلب شاخص‌ها کمترین میزان پروتئین برگی مربوط به تیمار شاهد (۰/۰۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) بود. البته سایر منابع آهن نیز سبب افزایش معنی‌دار میزان پروتئین برگی در مقایسه با تیمار شاهد شدند (جدول ۲). تغییر در محتوای پروتئین محلول برای درک اثرات نامساعد محیطی و تنش‌ها بر پروتولیز سلول و سنتز پروتئین بسیار مهم است. سازش به شرایط محیطی و تغییرات محیطی در واقع نتیجه‌ای از تغییر بیان ژن است، بنابراین ممکن است پروتئین‌های جدیدی سنتز شوند یا از فرم غیرفعال به فعال درآیند (Zhao *et al.*, 2018). در پژوهشی (Manul and Esteban, 2002) بر روی ارقام زیتون مشاهده شد که ارتباطی بین تغییرات پرولین و پروتئین برگ زیتون وجود دارد و به‌نظر می‌رسد که کاهش محتوای پروتئین تحت تنش‌ها و شرایط نامناسب محیطی، به‌دلیل کاهش سنتز آن، افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده پروتئین و نیز تجمع اسیدهای آمینه آزاد از جمله پرولین باشد، که این موضوع در آزمایش حاضر در تیمار شاهد مشهود بود زیرا دمای بالای محیط و از طرفی نامناسب‌بودن شرایط آب‌وهوایی محل انجام آزمایش برای درخت چنار سبب بروز علائم تنش‌ها نظیر کلروز

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.13.8]

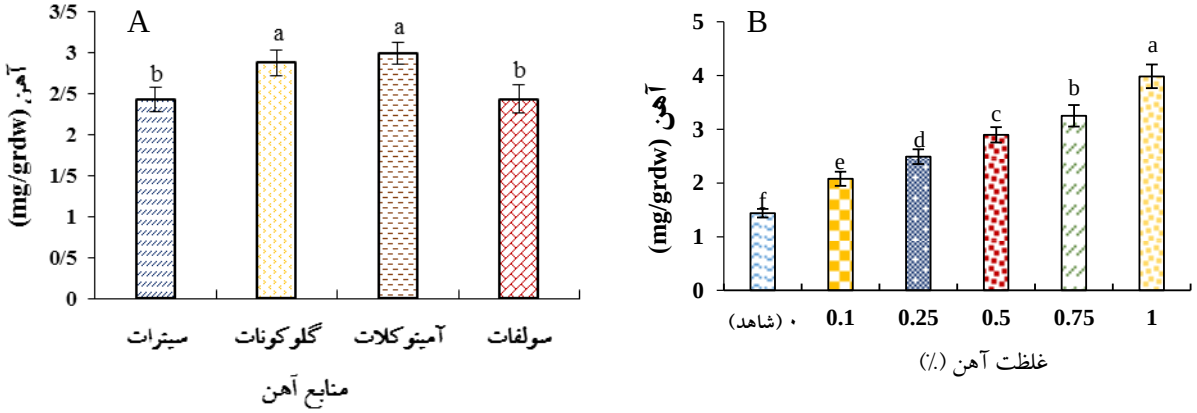
برگی و ریزش زودهنگام برگ در تابستان شد. نتایج کاربرد خاکی کلات آهن بر میزان پروتئین برگی تحت تنش خشکی نشان داد که با کاربرد آهن در شرایط نرمال میزان پروتئین برگی افزایش یافت (فتحی امیرخیز و همکاران،۱۳۹۰). همچنین گزارش شده که محلولپاشی عناصر روی، آهن و مس سبب افزایش میزان مواد جامد محلول و پروتئین پیاز شد (Sindahu and Tiwari, 1996).به‌طورکلی به‌نظر می‌رسد با کاربرد منابع آهن در اثر بهبود شرایط رشدی گیاه و بهبود وضعیت فتوسنتزی برگ و کاهش اثرات شرایط نامساعد رشد چنار، میزان پروتئین برگی نیز افزایش یافته باشد.

غلظت عنصر آهن: نتایج مقایسه میانگین داده‌های اثر ساده تیمارهای نوع منبع نشان داد که تیمار آمینوکلات آهن ۳/۰۱ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک دارای بیشترین میزان و سولفات آهن ۲/۴۶ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک کمترین میزان آهن برگی را نشان داد. همچنین قابل ذکر است که در اثر ساده غلظت‌های آهن بیشترین مقدار این شاخص مربوط به غلظت ۱ درصد آمینوکلات آهن (۳/۹۱ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) بود که میزان آهن برگی را در مقایسه با تیمار شاهد ۱۶۵/۹۸ درصد افزایش معنی‌دار داد (شکل ۵). مطالعه جهانشاه با هدف کاربرد منابع مختلف آهن به روش‌های تزریق و استفاده در خاک جهت افزایش عملکرد درخت خرما نشان داد که میزان آهن برگی پس از تزریق آهن در مقایسه با شاهد و استفاده خاکی این عنصر به‌صورت معنی‌داری افزایش یافت و وضعیت کلروفیل برگی را نیز در ادامه بهبود بخشید که با نتایج آزمایش حاضر مطابقت دارد (Abo-Rady *et al*., 1987; Saleh, 2008). در مطالعه‌ای جهت بهبود رشد گلابی رقم کنت رشد کرده در شرایط خاک‌های قلیایی مشاهده شد که در مقایسه تغذیه عناصر ریزمغذی با استفاده از روش‌های کاربرد خاکی، محلول‌پاشی برگی و تزریق تنه بیشترین محتوای آهن برگی مربوط به روش تزریق تنه بود که با پس از اعمال تیمارها، محتوای آهن برگی افزایش یافت که مشابه نتایج آزمایش حاضر بود (Peryea and Kammereck, 1997). گزارش‌های متعددی مبنی بر افزایش میزان آهن برگی پس از تیمار درختان با منابع آهن جهت تغذیه وجود داشت که نتایجی مشابه با یافته‌های حاصل از آزمایش حاضر نشان داد (Dehnavi and Sheshbahre, 2017; Elkins and Fichtner, 2016; Manul and Esteban, 2002).

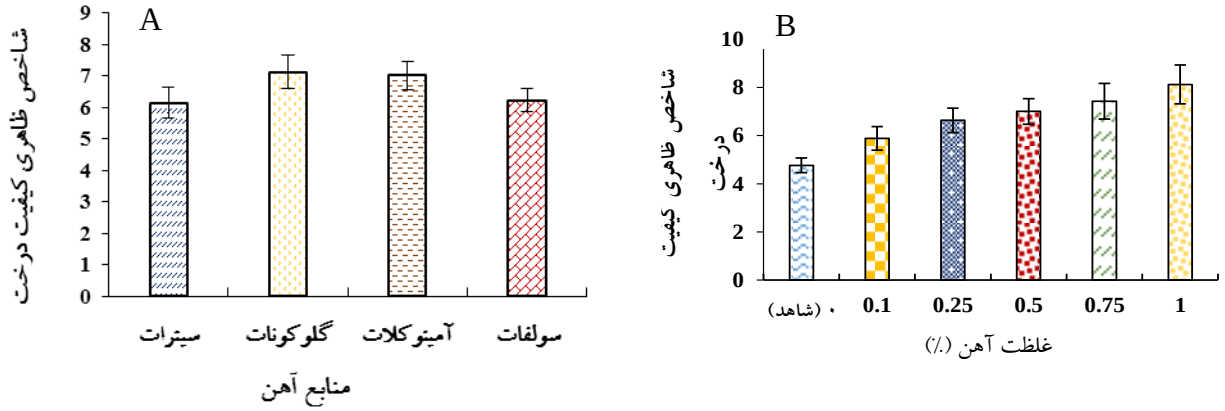
شاخص کیفیت ظاهری درخت: پیرو نتایج مقایسه میانگین مربوط به شاخص کیفیت ظاهری درخت مشخص شد که در اثر ساده منابع آهن، تیمار گلوکونات آهن دارای بالاترین میزان کیفیت ظاهری و کمترین میزان این شاخص مربوط به تیمار سولفات آهن بود. بین تیمارهای آمینوکلات آهن و گلوکونات آهن از نظر آماری اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. همچنین در اثر ساده غلظت‌های آهن مشاهده شد که تیمار غلظت ۱ درصد آهن کیفیت ظاهری درخت را در مقایسه با شاهد بیشتر از سایر تیمارها افزایش داد. به‌طورکلی با افزایش غلظت آهن، محتوای آهن برگی به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد (شکل ۶). نتایج نشان داد که با اعمال تیمارها محتوای آهن برگی، مقدار کلروفیل، مقدار پروتئین برگی و ضعیت بسیاری از صفات بهبود پیدا کرد. همچنین جدول همبستگی صفات نشان داد که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین شاخص وضعیت ظاهری گیاه با اغلب صفات وجود داشت که نشانگر بهبود رشد و وضعیت درختان است (جدول ۳).

محتوای آب نسبی برگ: نتایج مقایسه میانگین داده‌های اثر متقابل منبع و غلظت آهن مربوط به شاخص محتوای آب نسبی برگ درخت نشان داد که تیمار ۱ درصد آمینوکلات آهن (۸۷/۳۸ ٪) دارای بیشترین میزان محتوای آب نسبی برگ بود که اختلاف معنی‌داری را در این شاخص در مقایسه با سایر تیمارها نشان داد. همچنین کمترین میزان این شاخص مربوط به تیمار شاهد (۵۵/۸۱ ٪) بود که تیمار آمینوکلات ۱ درصد در مقایسه با تیمار شاهد به میزان ۴۹/۳۹ ٪ این شاخص را افزایش داد. تیمار تزریق منابع آهن سبب بهبود وضعیت سبزینگی برگ و رشد شد که در پیامد کاهش اثرات تنش‌زا محتوای آب نسبی برگ افزایش یافت (جدول ۲). محتوای نسبی آب برگ به عنوان یک شاخص سودمند در گزینش برای تحمل به خشکی ارزیابی شده است. هر عامل فیزیولوژیک و بیوشیمیایی در گیاهان که در حفظ آب گیاه نقش داشته باشد می‌تواند یکی از

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.13.8]



شکل ۵- نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی منبع (A) و غلظت آهن (B) بر صفت عنصر آهن. نمودارهای دارای حروف مشابه در تیمارهای منابع و غلظت آهن از نظر آماری در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.



شکل ۶- نتایج اثرات اصلی منبع (A) و غلظت آهن (B) بر شاخص ظاهری کیفیت درخت.

عوامل مؤثر در معرفی رقم متحمل باشد (Goodarzian Ghahfarokhi *et al*., 2015; Zhao *et al*., 2018). در مطالعه اثر کاربرد خاکی و محلول‌پاشی برگی عنصر آهن بر خصوصیات بیوشیمیایی گلرنگ تحت دو رژیم رطوبتی مشخص شد که با اعمال تنش خشکی میزان محتوای آب نسبی برگ کاهش می‌یابد اما با کابرد عنصر آهن محتوای نسبی آب برگ افزایش یافت که با نتایج آزمایش حاضر مبنی بر افزایش این شاخص با کاربرد آهن همخوانی داشت زیرا در آزمایش حاضر نیز با تزریق منابع مختلف آهن به تنه درختان چنار محتوای نسبی آب برگ در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافت (فتحی امیرخیز و همکاران، ۱۳۹۰).

میزان نشت الکترولیتی: براساس مقایسه میانگین داده‌های مربوط به شاخص نشت الکترولیتی برگ درخت مشاهده شد که تیمار شاهد دارای بیشترین میزان نشت الکترولیتی (۵۶/۹۷٪) بود که در مقایسه با سایر تیمارهای کاربرد آهن اختلاف معنی‌داری را در این شاخص نشان داد. همچنین کمترین میزان نشت الکترولیتی مربوط به تیمار ۱ درصد آمینو کلات آهن (۲۱/۷۰٪) بود که در مقایسه با تیمار شاهد شاخص نشت الکترولیتی را به میزان ۶۱/۹۰٪ کاهش داد. با توجه به فصل گرما و وضعیت کلروز برگی درختان شاهد انتظار می‌رفت که با اعمال تیمارهای تزریق تنه آهن و بهبود وضعیت سبزینگی برگ شاخص نشت الکترولیتی کاهش یابد (جدول ۲). نشت الکترولیتی سلول از جمله پارامترهای مناسب برای برآورد ساختار غشا و نشان‌دهنده صدمات غشایی است که از اکسیداسیون لیپیدهای غشا در حضور رادیکال‌های آزاد حاصل می‌شود (Dehnavi and Sheshbahre, 2017; Earl and Davis,

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.13.8]

جدول ۳- جدول همبستگی مربوط به همه صفات مهم و فیزیولوژی تحت تأثیر دو فاکتور اصلی منبع و غلظت آهن

صفات	۱- کلروفیل a	۲- کلروفیل b	۳- کلروفیل کل	۴- فلورسانس کلروفیل	۵- کارتنوئید	۶- پروتئین	۷- کربوهیدرات	۸- نشاسته	۹- آهن	۱۰- محتوای نسبی آب برگ	۱۱- کیفیت ظاهری درخت	۱۲- نشت الکترولیتی
۱	۱											
۲	۰/۸۱**	۱										
۳	۰/۹۵**	۰/۸۲**	۱									
۴	۰/۸۶**	۰/۷۷**	۰/۸۴**	۱								
۵	۰/۷۹**	۰/۸۴**	۰/۷۶**	۰/۷۶**	۱							
۶	۰/۸۳**	۰/۸۲**	۰/۸۳**	۰/۷۱*	۰/۷۵**	۱						
۷	۰/۵۰*	۰/۵۱*	۰/۴۸*	۰/۴۶*	۰/۵۰*	۰/۴۹*	۱					
۸	۰/۷۷**	۰/۷۸**	۰/۷۳**	۰/۷۴**	۰/۷۲**	۰/۸۹**	۰/۴۵*	۱				
۹	۰/۸۳**	۰/۸۷**	۰/۸۳**	۰/۷۸**	۰/۷۹**	۰/۹۰**	۰/۴۶*	۰/۸۶**	۱			
۱۰	۰/۷۲**	۰/۷۶**	۰/۶۶**	۰/۷۹**	۰/۸۰**	۰/۶۹**	۰/۵۱*	۰/۷۹**	/۷۶**	۱		
۱۱	۰/۸۶**	۰/۸۴**	۰/۸۳**	۰/۸۷**	۰/۸۵**	۰/۸۲**	۰/۵۱*	۰/۸۲**	/۸۶**	۰/۸۷**	۱	
۱۲	-۰/۸۳**	-۰/۸۲**	-۰/۸۶**	-۰/۸۴**	-۰/۷۲**	-۰/۶۱*	۰/۲۹ns	-۰/۷۹**	-۸۳**	-۰/۸۰**	-۰/۸۵**	۱

ns، و * نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار، معنادار در سطح احتمال ۱ درصد و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد**

2003; Zhao *et al.*, 2018). نهال‌های چنار آزمایش حاضر به‌دلیل آبیاری‌های نامنظم و شرایط خاکی نامناسب تحت تأثیر عوامل تنش‌زا قرار گرفته‌اند و به همین دلیل در تیمار شاهد با کمبود شدید آهن میزان نشت الکترولیتی بالاست. با کاربرد منابع آهن و بهبود وضعیت رشدی و کاهش اثرات تنش میزان نشت الکترولیتی برگ کاهش می‌یابد. در مطالعه اثر محلول‌پاشی کلات آهن بر خصوصیات فیزیولوژیکی میوه هلو رقم آلبرتا مشاهده شد که همانند نتایج آزمایش حاضر پس از اعمال تیمار تغذیه آهن نشت الکترولیتی کاهش پیدا کرد. نشت الکترولیتی با افزایش غلظت آهن کاهش بیشتری پیدا کرد که بیانگر بهبود رشد درختان بود (حسینی‌ملا و همکاران، ۱۳۹۴).

همبستگی بین صفات به وجود رابطه متقابل بین دو یا چند متغییری گفته می‌شود که تحت تأثیر عوامل مشترک قرار می‌گیرند. عدم‌آگاهی از ارتباط و همبستگی بین صفات مختلف و انتخاب یکطرفه برای صفات مهم ممکن است در برنامه‌های مختلف منجر به حصول بهترین نتیجه نگردد. نتایج مربوط به همبستگی بین صفات کمی در جدول ۳ نشان داد که بین برخی از صفات همبستگی مثبت و بین برخی دیگر همبستگی منفی وجود دارد. شاخص کلروفیل a با تمامی صفات ارتباط و همبستگی مثبت و بالایی در سطح ۱ درصد داشت و تنها با صفت نشت الکترولیت همبستگی منفی نشان داد. بین کلروفیل a و کلروفیل b همبستگی مثبت و بالایی (۰/۸۱) وجود داشت. کلروفیل کل با تمام صفات مورد بررسی در این مطالعه دارای همبستگی مثبت و بالایی بود و تنها با صفت نشت الکترولیت دارای همبستگی منفی (۰/۸۶-) بود. عنصر آهن نیز با تمامی صفات دارای اثرات مثبت و معناداری بودند و تنها با صفت نشت الکترولیت دارای اثر منفی و معنادار (۰/۸۳-) بودند. همچنین وجود مقادیر بالای آمینواسیدها در منبع آهن آمینو کلات می‌تواند منبع اولیه ساخت پروتئین یا آنزیم‌ها باشد که اثر مثبت و معنی‌دار موجود بین غلظت آهن موجود در برگ و میزان پروتئین می‌تواند به این دلیل باشد. از طرفی افزایش میزان کلروفیل و بهبود روابط فیزیولوژیک سلول‌های برگی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.13.8]

قطعاً می‌تواند در ادامه سبب بهبود وضعیت ظاهری نسبت به شاهد گردد.

نتیجه‌گیری

جهت کاهش علائم کلروز برگی درخت چنار در تابستان روش تزریق تنه روش مناسب و سریعی است که در این آزمایش استفاده از منابع گلوکونات و آمینوکلات آهن در مقایسه با سایر منابع سبب بهبود سریعتر رشد گیاه و سنتز کلروفیل شده و علائم کلروز و خزان زودرس را کاهش داد.

منابع

حسینی‌فرهی، م.، گودرزی، ک. و کاوسی، ب. (۱۳۸۸) رفع کمبود روی و افزایش عملکرد انگور عسکری (*Vitis vinifera* L.) به روش تزریق سولفات روی در تنه. نشریه علوم باغبانی علوم و صنایع کشاورزی ۲۳: ۱۸۸-۱۰۸.

حسینی‌ملا، س. م.، رضایی، آ. ا.، عسکری سرچشمه، م. ع. و خادمی، ا. (۱۳۹۴) اثر محلول‌پاشی کلات آهن روی خصوصیات کیفی و فیزیولوژیکی میوه هلو (*Prunus persica* CV. Alberta). نشریه فرایند و کارکرد گیاهی ۴: ۱۲۴-۱۱۵.

رضایی، س.، حاتم‌زاده، ع. وکافی، م. (۱۳۸۶) رفع کلروز آهن درختان چنار به روش تزریق تنه. پنجمین کنگره علوم باغبانی ایران، ۱۲-۱۵ شهریور، دانشکده کشاورزی شیراز، شیراز.

رئیسی، ف. و شهابی، ع. (۱۳۸۰) رفع کلروز آهن و کمبود روی به روش تزریق عناصر غذایی با pH پائین به تنه درختان پسته. کنگره علوم خاک ایران ۵۶۹-۵۶۷.

شهابی، ع. ا. و ملکوتی، م. ج. (۱۳۸۱) نقش بیکربنات در بروز ناهنجاری¬های تغذیه¬ای در درختان میوه. انتشارات سنا، تهران.

صاحب¬زاده، ب. (۱۳۹۶) بررسی اثر متقابل حضور درختان چنار (*Platanus orientalis* L.) و ذرات معلق هوا بر برخی از شاخص‌های اقلیمی و سلامت درختان در فضای سبز شهری. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

عالی‌پور، ح. (۱۳۹۲) اثر قارچ میکوریزا *Glomus mosseae* و *G.intraradices* بر شاخص‌های رشدی چنار *Platanus orientalis* L. در شرایط آبیاری کامل و کم‌آبیاری. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

فتحی امیرخیز، ک.، امینی دهقی، م.، مدرس ثانوی، س. ع. م و حشمتی، س. (۱۳۹۰) اثر کاربرد خاکی و برگی عنصر آهن بر برخی خصوصیات بیوشیمیایی گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.)، تحت دو رژیم رطوبتی. نشریه علوم گیاهان زراعی ایران ۴۲: ۵۱۸-۵۰۹.

کافی، م. و نیکبخت، ع. (۱۳۸۵) بررسی روش‌های مختلف تغذیه از طریق تزریق به تنه (*Trunk injection*) و مصرف موضعی در خاک به‌منظور کنترل عارضه خزان زودرس درختان چنار (*Platanus orientalis* L.) در شهرستان کرج. گزارش نهایی پروژه مشترک شهرداری کرج با دانشگاه تهران.

کلباسی، م. و یزدان‌پناه، ع. ر. (۱۳۷۵) اثر تیمارهای مختلف بر کلروز آهن درختان چنار شهر اصفهان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان.

لکزیان، ا.، فیضی‌اصل، و.، تهرانی‌فر، ع.، حلاج‌نیا، ا.، رحمانی، ح.، پاکدل، پ.، محسنی، ه. و طالبی، آ. (۱۳۹۲) ارزیابی دلایل سرخشکیدگی و زردی زود هنگام درختان چنار (*Platanus* sp.) در شهر مشهد با استفاده از تجزیه رگرسیون مکانی (GGE biplot). علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی) ۲۷: ۲۷۴-۲۵۹.

ملکوتی، م. ج. و طهرانی، م. م. (۱۳۷۹) نقش ریزمغذی‌ها در افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی- عناصر خرد با تأثیر کلان. چاپ دوم. دفتر نشر آثار علمی دانشگاه تربیت مدرس.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.13.8]

ملکوتی، م. ج. (۱۳۷۸) ارزیابی روش‌های مصرف بهینه کود در باغات کشور. نتایج طرح‌های تحقیقاتی در قالب پایلوت از سلسله گزارشات مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور.

میرسلیمانی، ع. و تفضلی، ع. (۱۳۸۵) تأثیر pH محلول غذایی بر جذب آهن توسط ۴ پایه انگور. مجله پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی ۱۹: ۱۷-۱۲.

ورشاب‌سازکوشکی، ع. (۱۳۹۵) اثر تغذیه چالکودی قارچ میکوریزا بر شاخص‌های رشدی درخت چنار (*Platanus orientalis* L.) تحت دو سیستم آبیاری. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

Abdi, G. H. and Hedayat, M. (2010) Yield and fruit physiochemical characteristics of'Kabkab'date palm as affected by methods of potassium fertilization. Advances in Environmental Biology 1: 437-43.

Abo-Rady, M. D., Ahmed, H. S. and Ghanem, M. (1987) Response of date palm to iron fertilization by trunk injection and soil application. Zeitschrift fur Pflanzenernahrung und Bodenkunde 150: 197-200.

Alhendawi, R. A., Romheld, V., Kirkby, E. A. and Marschner, H. (1997) Influence of increasing bicarbonate concentration on plant growth, organic acid accumulation in roots and iron uptake by barley, sorghum and maize. Journal of Plant Nutrition 20: 1731-1753.

Anderson, W. B. (1982) Diagnosis and correction of iron deficiency in field crop. Journal of Plant Nutrition 5: 785-795.

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

Baillon, F., Dalschaert, X., Grassi, S. and Geiss, F. (1988) Spruce photosynthesis: Possibility of early damage diagnosis due to exposure to magnesium or potassium deficiency. Trees 2: 173-179.

Balakrishnan, K., Rajendran, C. and Kulandaivelu, G. (2000) Differential responses of iron, magnesium, and zinc deficiency on pigment composition, nutrient content, and photosynthetic activity in tropical fruit crops. Photosynthetica 38: 477-479.

Banuls, J., Quinones, A., Martin, B., Primo-Millo, E. and Legaz, F. (2003) Effects of the frequency of iron chelate supply by fertigation on iron chlorosis in citrus. Journal of Plant Nutrition 26: 1985-1996.

Barker, A. V. and Pilbeam, D. J. (2015) Handbook of Plant Nutrition. 2nd Ed. CRC Press, Boca Raton.

Bradford, M. M. (1976) A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry 72: 248-254.

Chen, L. S., Smith, B. R. and 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: 738-744.

Cherki, G. H., Foursy, A. and Fares, K. (2002) Effects of salt stress on growth inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five suger beet cultivars. Environmental and Experimental Botany 47: 39-50.

DeEll, J. R. and Toivonen, P. M. (2003) Practical Applications of Chlorophyll Fluorescence in Plant Biology. Kluwer Academic Publishers, Boston, Dordrecht, London.

Dehnavi, M. M. and 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: 13-21.

Earl, H. J. and Davis, R. F. (2003) Effect of drought stress on leaf and whole canopy radiation use efficiency and yield of maize. Agronomy Journal 95: 688-696.

Elkins, R. and Fichtner, E. (2016) Causes and control of lime-induced Fe deficiency in California fruit and nut crops. University of California Division of Agriculture and Natural Resources 21637.

Fernandez-Escobar, R., Barranco, D. and 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: 192-194.

Goodarzian Ghahfarokhi, M., Mansurifar, S., Taghizadeh-Mehrjardi, R., Saeidi, M., Jamshidi, A. M. and 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: 493-506.

Hurley, A. K., Valser, R. H. and Davis, T. D. (1986) Net photosynthesis and chlorophyll content in silver maple after trunk injection of ferrous sulfate. Journal of Plant Nutrition 9: 683-93.

Kang, Y. Y., Guo, S. R., Li, J. and Duan, J. J. (2009) Effect of root applied 24-epibrassinolide on carbohydrate status and fermentative enzyme activities in cucumber (*Cucumis sativus* L.) seedlings under hypoxia. Plant Growth Regulation 57: 259-269.

Lutts, S., Kinet, J. and Bouharmont, J. (1996) NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. Annals of Botany 78: 389-398.

Manul, D. G. and Esteban, A. (2002) Bicarbonate and low iron level increase rot to total plant weight ratio in olive and peach rootstock. Journal of Plant Nutrition 25: 1021-1032.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.13.8]

Mengel, K., Planker, A. and Hoffman, B. (2006) Iron availability in plant tissues-iron chlorosis on calcareous soils. Plant and Soil 165: 275-283.

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

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

Oncel, I., Keles, Y. and Ustun, A. (2000) Interactive effects of temperature and heavy metal stress on the growth and some biochemical compounds in wheat seedlings. Environmental Pollution 107: 315-320.

Page, A. L., Miller, R. H. and Keeney, D. R. (1982) Methods of soil analysis. II. Chemical and Microbiological Properties, 2nd Ed. ASA, SSSA, Madison, Wisconsin USA.

Parthier, B. (1989) Hormone- induced alterations in plant gene expression. Biochemie und Physiologie der Pflanzen 185: 289-314.

Peryea, F. J. and 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: 1457-63.

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: 207-214.

Sheligl, H. Q. (1986) Die verwertung orgngischer souren durch chlorella lincht. Planta Journal 47-51.

Sindahu, S. S. and Tiwari, R. S. (1996) Effect of micronutrients on yield and quality of onion. Progressive Horticulture 25: 176-180.

Swietlik, D., Bunce, J. and Miller, S. (1984) Effect of foliar application of mineral nutrients on stomatal aperture and photosynthesis in apple seedlings. Journal American Society for Horticultural Science 109: 77-84.

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

Zhao, J. H., Li, H. X., Zhang, C. Z., Wei, A., Yue, Y., Wang, Y. J. and Cao, Y. L. (2018) Physiological response of four wolfberry (*Lycium* Linn.) species under drought stress. Journal of Integrative Agriculture 17: 603-612.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.13.8]

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

Ali Nikbakht*, Abolfazl Sheykhan and Ghasem Akhbarfar

Horticulture groupe, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology
(Received: 20/11/2021, Accepted: 22/02/2022)

Abstract

To investigate trunk injection treatment effects on eliminating chlorosis disorder and improving the growth of plane trees (Platanus orientalis L.), an experiment was arranged in a factorial experiment based on a randomized complete block design at Lavark Reasrch Farm, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran, with three replications and four treatments. Treatments consisted of different sources of iron (iron aminolate, iron gluconate, iron citrate, iron sulfate) at six concentrations (0 as control, 0.1, 0.25, 0.5, 0.75, and 1%) for each treatments .The measured traits included photosynthetic pigments, iron content, chlorophyll fluorescence, leaf protein content, appearance quality index, relative leaf water content, and electrolyte leakage of tree leaves. The results indicated that trunk injection of iron aminochlate and iron gluconate at 0.75 and 1% concentration had the most significant positive effect on the most of the measured traits compared to the other treatments. Therefore, the use of iron aminochlate and iron gluconate treatments improved the visual appearance of plant trees by increasing the concentration of photosynthetic pigments. The results showed that iron aminochlate and iron gluconate treatments at the level of 0.75% and 1% had the most significant positive effect on the most measured traits compared to the other experimental treatments. Iron aminochlate and iron gluconate treatments improved the appearance of the sycamore tree by increasing the amount of photosynthetic pigments. Also, increasing the concentration of iron used in each treatment in most traits improved the measured characteristics. Based on the results, the interactions of iron aminochlate treatment with a concentration of 1% showed the most significant positive effect compared to the control treatment in the most traits. Therefore, the trunk injection method using aminochlate treatments is recommended to improve different traits in sycamore trees.

Keywords: Iron, Leaf chlorosis, Photosynthetic pigments, Trunk injection, Visual appearance.

Corresponding author, Email: anikbakht@iut.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.13.8]