گل و گیاهان زینتی (۱۴۰۴)، ۱۰(۲): ۳۱۳-۳۳۶
مقاله پژوهشی

نوسان های مقادیر عناصر غذایی در بافت‌های سوخ، برگ و ریشه جام‌زرین پاییزه (*Sternbergia lutea* (L.) Ker Gawl. ex Spreng.) در چرخه رشدی آن

سارا علی پناه، فرزاد نظری*، محمود کوشش صبا

گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج
f.nazari@uok.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۵/۲۱، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۹/۹، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۹/۱۶

چکیده

جام‌زرین پاییزه یکی از سوخوارهای تیره نرگس‌سانان است که به دلیل داشتن گل‌های زرد درخشان در فصل پاییز و نیاز آبی کم، پتانسیل بالایی برای گسترش در فضای سبز به عنوان گیاه زینتی دارد. در این پژوهش که از شهریور ۱۳۹۶ تا مهر ۱۳۹۷ اجرا شد، نوسان های عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، روی و مس در طول دوره‌های ورود به خفتگی (خرداد ماه)، مرحله حین خفتگی (تیر ماه) و مرحله خروج از خفتگی (مهر ماه) در بافت‌های مختلف سوخ (فلس بیرونی، فلس درونی، صفحه‌پایگاهی و جوانه)، برگ و ریشه جام‌زرین پاییزه ارزیابی شدند. نتایج نشان داد که در مرحله ورود به خفتگی، بیشترین مقادیر عناصر نیتروژن، مس و روی در صفحه‌پایگاهی و بیشترین مقدار فسفر در فلس بیرونی مشاهده شد، در حالی که مقدار آهن در این مرحله تغییر معنی‌داری نداشت. در سوخ‌های در حین خفتگی، بیشترین مقدار نیتروژن و فسفر به ترتیب در فلس درونی و جوانه به‌دست آمد و همچنین بیشترین مقدار مس، آهن و روی به صفحه‌پایگاهی تعلق داشت. در زمان خروج از خفتگی سوخ‌ها، نیز بیشترین مقادیر نیتروژن، فسفر و آهن در صفحه‌پایگاهی، بیشترین مقدار روی در جوانه و بیشترین مقدار مس به‌طور مساوی در جوانه و صفحه‌پایگاهی یافت شد. در هر سه مرحله، فلس بیرونی بیشترین مقدار پتاسیم را به خود اختصاص داد. در بخش دوم آزمایش در بافت برگ بیشترین مقادیر نیتروژن، فسفر، پتاسیم و روی به زمان خروج از خفتگی و بیشترین مقدار آهن و مس به مرحله ورود به خفتگی تعلق گرفت، در حالی که در بافت ریشه بیشترین مقادیر نیتروژن، فسفر، مس و روی در مرحله خروج از خفتگی و بیشترین مقدار پتاسیم و آهن در مرحله ورود به خفتگی به دست آمد. نتایج این پژوهش نشان داد که شناخت الگوی نوسان های عناصر غذایی در بافت‌ها و مراحل فیزیولوژیک گیاه جام‌زرین پاییزه، می‌تواند مبنای علمی مناسبی برای بهینه‌سازی زمان‌بندی تأمین عناصر غذایی باشد. این هماهنگی تغذیه با مراحل رشد و خفتگی گیاه، می‌تواند عملکرد رشد در طول فصل جاری را بهبود دهد و نیز منجر به افزایش کیفیت و یکنواختی گلدهی در چرخه رشد شود. چنین رویکردی، کارایی مصرف عناصر را بهبود بخشیده و می‌تواند به بهره‌وری بالاتر در تولید این گونه زینتی کمک نماید.

واژه های کلیدی: خفتگی، عناصر غذایی، فضای سبز، گیاهان سوخوار.

[Downloaded from flowerjournal.org on 2026-11-18]

[DOI: 10.61186/fop.10.2.313]

مقدمه

زمین‌رُست‌های زینتی (ژئوفیت‌های زینتی)[۱] که به‌طور عام به آن‌ها گل‌های سوخوار[۲] گفته می‌شود در سراسر دنیا شامل بیش از ۸۰۰ جنس مختلف گیاهی هستند که دارای فیزیولوژی و زیست‌شناسی متفاوتی در پاسخ به شرایط متفاوت محیطی زیستگاه طبیعی آنها هستند (Kamenetsky & Okubo, 2013). گیاهان سوخواری که به‌طور تجاری کشت می‌شوند، بخش مهمی از تولید بازار گل‌های زینتی برای اهداف شاخه بریدنی، گلدانی و کشت در فضای را شامل می‌شوند (Farahmand & Nazari, 2015). باتوجه به کمبود منابع آبی در کشور، الگو برداری از طبیعت و بهره‌برداری از گیاهان بومی در فضای شهری، یکی از بهترین راه‌های مقابله با بحران کم‌آبی در فضای سبز است، زیرا گونه‌های بومی به عنوان منابع ژنتیکی بسیار ارزشمند شناخته می‌شوند که طی فرایندهای تکاملی با شرایط اقلیمی منطقه خود سازگاری یافته‌اند. این سازگاری منجر به مقاومت قابل توجه آنها در برابر تنش‌های محیطی مانند خشکی، شوری و دماهای نامطلوب شده است. بنابراین حفاظت و بهره‌برداری هدفمند از این ذخایر ژنتیکی نقش کلیدی در حفظ تنوع زیستی، توسعه فضای سبز پایدار و افزایش مقاومت اکوسیستم‌ها در برابر تغییرات اقلیمی ایفا می‌کند (Cho *et al.*, 2024).

جنس *Sternbergia* از تیره نرگس‌سانان توسط Waldstein و Kitaibel در سال ۱۸۰۳ میلادی در مراتع خشک کشور مجارستان، معرفی شد و نام این جنس به احترام گیاهشناس مجارستانی به نام Caspar von Sternberg نام‌گذاری شد (Frignani *et al.*, 2004). پراکندگی جغرافیایی این جنس در ترکیه، ایران، قفقاز، آسیای مرکزی و عراق می‌باشد (Mazhari, 2004). در برخی از مناطق ایران مانند استان‌های فارس، کهگیلویه و بویراحمد و هرمزگان این گونه را با نام گل بی‌منت باران می‌شناسند که به دلیل گلدهی آن حتی در صورت عدم وجود بارندگی می‌باشد (Farahmand & Nazari, 2015). این جنس در دنیا دارای هفت گونه معتبر می‌باشد که دو گونه از آنها بهار گل (*S. fischeriana* و *S. candida*) و پنج گونه پاییز گل (*S. clusiana*، *S. lutea*، *S. sicula*، *S. greuteriana* و *S. colchiciflora*) می‌باشند (Manafi & Nazari, 2021). از این جنس در ایران، دو گونه پاییزگل به نام‌های جام‌زرین پاییزه، جام‌زرین کوروش[۳] و یک گونه بهارگل به نام جام‌زرین گلستانه[۴] به صورت خودرو رشد می‌کند (Nazari, 2019).

جام‌زرین‌پاییزه از گیاهان سوخوار چندساله، علفی، دارای برگ‌های تسمه‌ای[۵] درخشان و گل‌های جامی‌شکل زردرنگ است (شکل ۱-الف)، که با توجه به زمان وقوع بارندگی و نیز دمای هوا و خاک، از مهرماه تا دی ماه نمایان می‌شوند. پس از گلدهی و در برخی مواقع در حین گلدهی، برگ‌های آن به رشد کامل می‌رسند و نیز با گرم شدن هوا، برگساره آن به‌طور معمول در اردیبهشت تا خرداد بسته به شرایط آبیاری و دمای هوا، زرد می‌شود و به تعبیری وارد دوره خفتگی[۶] می‌شود و دوباره با خنک شدن دمای هوا و بارندگی در پاییز، شروع به رشد و گلدهی می‌کند. این گونه به دلیل پاییز گل بودن و نیز مقاوت بالای آن به سرمای پاییز و زمستان، یک گل ویژه برای کشت در فضای سبز می‌باشد. در شکل (۱-ب) مقایسه پدیدگانی آن در فصل پاییز با گل داوودی در فضای سبز دانشگاه کردستان به خوبی نشان داده شده است. بنابراین این گونه پتانسیل زیادی به عنوان گیاه زینتی دارد زیرا به دمای پایین (شکل ۱- ج و د)، کم آبی، خاک های با pH بالا و نیز تا حدی به آفات و بیماری‌ها مقاومت

۱- Ornamental geophytes
۲- Bulbous flowers
۳- *Sternbergia clusiana*
۴- *Sternbergia fischeriana*
۵- Strap-like leaves
۶- Dormancy

[Downloaded from flowerjournal.org on 2026-11-18]

[DOI: 10.61186/fop.10.2.313]

دارد (Alipanah *et al.,* 2024). البته افزون بر موارد بیان شده، در باغبانی می‌توان از این گیاه به عنوان گیاه گلدانی و گیاه پوششی[1] (به دلیل داشتن برگساره زیبای آن) استفاده شود (Nazari, 2019). همچنین افزون بر فواید زینتی، این گونه مشابه دیگر گیاهان تیره نرگس‌سانان دارای آلکالوئیدهایی مانند تازتین، لیکورین، بلادین و گالانتامین می‌باشد که به خاطر داشتن فعالیت‌های تحریک‌کننده سیستم ایمنی، ضد میکروبی، ضد ویروسی، ضد تومور و ضد سرطان خون شناخته شده‌اند (Baxendale *et al.,* 2002؛ Weniger *et al.,* 1995؛ Gabrielsen *et al.,* 1992).



شکل ۱- الف: گلدهی بوته‌های جام‌زرین پاییزه در ۱۵ مهر ماه ۱۴۰۰ و ب: نمای به‌طور کامل سرمازده گل داوودی در همان تاریخ (۱۵ مهر ماه ۱۴۰۰) ج: قرارگرفتن گیاهان جام‌زرین پاییزه زیر برف در تاریخ ۲۷ دی ماه ۱۴۰۰، هنگامی که دمای شب به ۲۱- درجه سلسیوس رسید و د: نمایان شدن همین گیاهان با برگ‌های تسمه‌ای شکل درخشان، پس از ذوب شدن برف در ۱۴ بهمن ماه ۱۴۰۰ (تصاویر از فضای سبز دانشگاه کردستان تهیه شده‌اند).

Figure 1. A. Flowering autumn daffodil on October 7, 2021. B. A completely frost-bitten view of chrysanthemums on the same date, October 7, 2021. C. An autumn daffodil covered in snow on January 17, 2022, when the night temperature dropped to -21 °C. D. The same plants emerged with their shiny strap-shaped leaves after the snow melted on February 3, 2022. (Images were taken from the landscape of the University of Kurdistan.)

گونه‌های سوخوار برای زنده ماندن در شرایط محیطی نامطلوب از خفتگی به عنوان یک مکانیزم بهره می‌برند. خفتگی فرآیندی پیچیده است که در آن رشد تحت تاثیر عوامل درونی و بیرونی متوقف می‌گردد و متابولیزم در بافت گیاهی کم می‌شود. در

۱- Ground cover

[Downloaded from flowerjournal.org on 2026-11-18]

[DOI: 10.61186/fop.10.2.313]

تعریف کامل‌تری خفتگی در سوخوارها، یک حالت دینامیک و پیچیده فیزیولوژی، مورفولوژی و بیوشیمیایی بیان شده است که هیچ تغییر ریخت‌شناسی قابل مشاهده‌ای و یا هیچ گونه رشدی به چشم نمی‌خورد، اما به‌طور درونی برخی رخدادهای فیزیولوژیکی در حال وقوع هستند و به محض مشاهده تغییرات بیرونی مانند رشد ریشه روی صفحه‌پایگاهی[۱] و یا مشاهده رشد شاخساره، خفتگی سوخ رفع شده است. از این رو خفتگی سوخ به عنوان دوره‌ای برای توسعه و نمو درونی در اندام‌های زیرزمینی تعریف شده است (Zhao *et al*., 2022). همچنین باید عنوان شود که خفتگی در بذرها و افزونه‌های رویشی برخی از گیاهان گل‌دهنده رخ می‌دهد و از لحاظ زیست‌شناسی به عنوان یک مکانیزم ذخیره‌ای برای یقین از زنده‌ماندن گیاه در طول شرایط نامناسب محیطی مانند دماهای بالا و پایین و نیز تنش خشکی می‌باشد. در علوم باغبانی، وجود خفتگی سبب محدود شدن فصل گلدهی می‌شود. البته هرچند به عبارت دیگر دوره خفتگی دارای فوایدی برای تولیدهای تجاری برخی از محصولات است زیرا اجازه مدیریت، انبار و جابه‌جایی اندام‌های در حال خفتگی را می‌دهد (Kamenetsky & Okubo, 2013). به‌طور کلی می‌توان استدلال کرد که در زمان خفتگی، اندام زیرزمینی به‌ویژه در سوخوارهایی که نیاز به چرخه سالانه گرم–سرد–گرم[۲] دارند، به‌طور کامل غیر فعال نیست زیرا برخی از فعالیت‌های متابولیسمی درونی در حال انجام است و قطعا تغییرات فیزیولوژی، بیوشیمیایی و هورمونی در بافت‌های مختلف آن رخ خواهد داد.

گزارش شده که در طول فصل رشد، نشاسته در بافت‌های ذخیره شده جمع می‌گردد و سپس در طول دوره خفتگی به قندهای محلول تبدیل می‌شود (Koch, 2004). همچنین عنوان شده که شروع جوانه‌زنی[۳] سوخ توسط یک تعادل ظریف بین غلظت تحریک‌کننده‌های رشد مانند آکسین و سیتوکینین‌ها و نیز مهارکننده‌های رشد مانند آبسیزیک اسید (ABA) کنترل می‌شود (Galuszka *et al.,* 2008). مشاهده شده است در نیساگ‌های[۴] خفته‌ی زنبق[۵]، مقدار زیادی ABA وجود دارد که در زمان برطرف شدن خفتگی، کاهش می‌یابد (Okubo, 1992). قطعا هورمون‌های درونی دیگر و برخی از عوامل ناشناخته دیگر نیز ممکن است در رفع خفتگی در ژوخه‌ها[۶] نقش داشته باشند (Xu *et al.,* 2006). گزارش شده است که سایتوکینین‌ها و اتیلن و به ترتیب سبب کاهش طول دوره خفتگی در پَداژه‌های[۷] گلایول[۸] (Tsukamoto, 1972) و فریزیا[۹] (Kamenetsky & Okubo, 2013) شده است. در زمان جوانه‌زنی سوخ‌ها، میزان پروتئین در جوانه[۱۰] به بیشترین مقدار افزایش می‌یابد و در ناحیه صفحه‌پایگاهی کاهش پیدا می‌کند (Ikediobi & Oti, 1983).

در زمینه بررسی تغییرات عناصر غذایی در بافت‌های مختلف اندام‌های زیرزمینی گیاهان سوخوار در طول دوره خفتگی و گلدهی پژوهشی انجام نشده است. اما به‌طور کلی روشن است، عناصر غذایی در بسیاری از فرایندهای متابولیکی و رشد و توسعه گیاهان اثر دارند. نیتروژن به‌عنوان یکی از عناصر غذایی ضروری نقش مهمی در رشد، نمو، گلدهی و ریخت‌زایی گیاهان ایفا می‌کند. نیتروژن با وارد شدن به ترکیبات پروتئینی و اسیدهای آمینه، ساختار یاخته و فرآیندهای متابولیکی را تقویت کرده و سبب افزایش نورساخت و تولید کلروفیل می‌شود که این امر موجب بهبود رشد گیاه و توسعه بافت‌های جدید می‌گردد (Wang *et al*., 2024). گزارش شده که در جذب و تجمع عناصر غذایی در اندام‌های ذخیره‌ای گیاهان رقابت وجود دارد (Chapin *et al*., 1990) و در گیاهان سوخوار این رقابت در زمان ورود به خفتگی در بافت‌های سوخ بیشتر است. مشابه این

۱- Basal plate ۲- Warm-cold-warm annual sequence ۳- Sprouting ۴- Rhizomes ۵- Iris (*Iris* sp.)
۶- Tubers ۷- Corms ۸- Gladiolus (*Gladiolus* sp.) ۹- Freesia (*Freesia* sp.) ۱۰- Bud

[Downloaded from flowerjournal.org on 2026-11-18]

[DOI: 10.61186/fop.10.2.313]

در درختان میوه، نوسان های غلظت مواد مغذی ممکن است بر اساس نوع فصل و شرایط آب و هوایی رخ دهد. رطوبت و خشکی متناوب و همچنین نوسان های دمایی تأثیر شگرفی بر تحرک و جذب عناصر توسط درختان دارند (Stateras & Moustakas, 2018). به عنوان نمونه در درختان بلوط ایرانی[۱] افزایش مقدار فسفر در پاسخ به خشکی گزارش شده است (Diaz & Roldan, 2000). از آنجایی‌که آب در انتقال عناصر نقش دارد، زمانی که گیاه در معرض تنش خشکی قرار می‌گیرد، جابجایی عناصر نیز کاهش می‌یابد و همچنین عناصر غذایی نیز اثر متقابلی بر جذب آب دارند. عناصر مس و روی از عناصر کم‌مصرف ضرروی برای رشد و توسعه گیاهان هستند و در بسیاری از فرآیندهای متابولیسمی گیاهان نقش دارند. عنصر روی فعال‌کننده و کوعامل بسیاری از آنزیم‌های حیاتی از جمله دهیدروژنازها، کربونیک‌آنهیدرازها، فسفولیپازها، آلکالین فسفاتازها و RNA پلیمرازها است و در متابولیسم انواع پروتئین، قند، اسیدهای نوکلئیک و چربی‌ها، درنورساخت گیاه، و زیست ساخت آکسین به‌عنوان یک هورمون محرک رشد ایفای نقش می‌کند (Rion & Alloway, 2004) پس ممکن است در زمان تنژیدن بذر مقدار بیشتری از آن توسط ریشه جذب شود.

با توجه به اهمیت تغییر اقلیم در انتخاب گونه‌های وحشی مناسب برای بهره‌گیری در فضای سبز و همچنین نبود پژوهش‌هایی درباره نوسان های عناصر غذایی در طول دوره خفتگی و خروج از خفتگی جام‌زرین پاییزه[۲]، در این پژوهش به بررسی نوسان های عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، روی و مس در مراحل ورود به خفتگی، حین خفتگی و خروج از خفتگی و در بافت‌های مختلف سوخ، برگ و ریشه این گیاه پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

کشت سوخ‌ها

این پژوهش در دانشگاه کردستان در شهر سنندج (۱۳۹۷-۱۳۹۶) با داشتن اقلیم معتدل و مرطوب، تابستان گرم و زمستان سرد، انجام گرفت. در این پژوهش، سوخ‌های جام‌زرین پاییزه با میانگین محیط ۱۱/۶۲سانتی‌متر و میانگین وزن ۲۱/۶۱ گرم از رویشگاه طبیعی آن در استان ایلام جمع‌آوری شدند، سپس در شهریور ماه ۱۳۹۶ در خاک زراعی دارای بافت لومی با اسیدیته ۷/۶۱، مواد آلی ۲/۲۴ درصد و ظرفیت تبادل کاتیونی (میلی‌اکی والان در ۱۰۰ گرم) ۲/۵۲ کشت شدند. کشت سوخ‌ها در ۲۰ ردیف (با فاصله ۳۰ سانتی‌متر بین ردیف‌ها) و هر ردیف دارای ۱۰ سوخ (با فاصله ۱۵ سانتی‌متر بین سوخ‌ها) انجام شد که در مجموع ۲۰۰ سوخ شامل شدند. پس از آبیاری سوخ‌ها در ۲۴ شهریور ۱۳۹۶، رشد ریشه‌ها و برگ‌ها از اوایل مهر همان سال آغاز شد و گلدهی گیاهان نیز در اواسط مهر ۱۳۹۶ شروع شد. با پایان گلدهی تمام گیاهان در اوایل آبان، رشد سبزینه‌ای گیاهان ادامه یافت و برگ‌های سبز و شاداب آن‌ها تا ۱۱ خرداد ۱۳۹۷ نمایان بود. با افزایش دما در خرداد، برگ‌ها به تدریج زرد شدند که این مرحله به‌عنوان "مرحله ورود به خفتگی[۳]" تلقی شد. در تیرماه، تمامی برگ‌ها کاملاً زرد، خشک و قهوه‌ای شدند و این ماه به‌عنوان "مرحله حین خفتگی[۴]" شناخته شد. مشابه سال گذشته، در اواخر شهریور ۱۳۹۷ مجدداً گیاهان آبیاری شدند و رشد ریشه‌ها، ظهور برگ‌ها و شروع گلدهی جدید در مهر ۱۳۹۷ به وقوع پیوست که این دوره به‌عنوان "مرحله خروج از خفتگی[۵]" در نظر گرفته شد (Alipanah *et al.*, 2023).

۱- Persian oak (*Quercus brantii*)
۲- *Sternbergia lutea*
۳- Entering dormancy
۴- During dormancy
۵- Exit from dormancy

[Downloaded from flowerjournal.org on 2026-11-18]

[DOI: 10.61186/fop.10.2.313]

طرح آزمایش

این پژوهش در دو بخش و به صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های به‌طور کامل تصادفی اجرا شد. بخش اول شامل دو عامل زمان نمونه‌برداری در سه سطح یعنی مرحله ورود به خفتگی (خرداد ماه)، مرحله در حین خفتگی (تیر ماه) و مرحله خروج از خفتگی (مهر ماه) و نوع بخش سوخ در چهار سطح شامل فلس بیرونی[۱]، فلس درونی[۲]، صفحه‌پایگاهی و جوانه بود (Alipanah *et al.,* 2023). بخش دوم پژوهش دارای دو عامل زمان نمونه‌برداری در دو سطح (ورود به خفتگی و خروج از خفتگی) و نوع بافت نیز در دو سطح (ریشه و برگ) بود. زمان‌های نمونه‌برداری (ماه‌های خرداد، تیر و مهر) بر اساس پایش فنولوژیک دقیق و طولانی‌مدت گیاه جام‌زرین پاییزه تعیین شد. نمونه‌برداری اول در خردادماه و پس از زرد و خشک شدن کامل برگ‌ها (ورود به خفتگی) انجام گرفت؛ نمونه‌برداری دوم در تیرماه، میانه دوره خفتگی کامل گیاه بود؛ و نمونه‌برداری سوم در مهرماه همزمان با خروج جوانه گل از خاک و آغاز چرخه رشدی جدید (خروج از خفتگی) صورت پذیرفت. قابل یادآوری است که در بخش اول پژوهش تغییرات عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، روی و مس در چهار قسمت سوخ بررسی شد و در بخش دوم آزمایش تغییرات عناصر در برگ و ریشه ارزیابی شد (جدول ۱).

جدول ۱- زمان‌ها و بافت‌های نمونه‌برداری شده در این پژوهش برای بررسی نوسان های عناصر.

Table 1. Sampling times and tissues in this study for examining elemental fluctuations.

بخش Part	زمان نمونه‌برداری (ماه) Sampling time (month)	بافت‌های نمونه‌برداری شده Sampled tissues
اول First	ورود به خفتگی (خرداد ماه)، در حین خفتگی (تیر ماه) و خروج از خفتگی (مهر ماه) Entering dormancy (June), during dormancy (July), and exit from dormancy (October)	فلس‌های بیرونی و درونی، صفحه‌پایگاهی و جوانه داخل سوخ Outer scales, inner scales, basal plate and bud in the bulb
دوم Second	خرداد و مهر June and October	برگ و ریشه Leaf and root

اندازه‌گیری عناصر

برای تهیه عصاره، نمونه پودر شده گیاهی را از الک ۰/۵ عبور داده و ۰/۵ گرم از آن را در بوته چینی ریخته و داخل کوره در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس و به مدت ۴/۵ ساعت قرار داده تا خاکستر شود. سپس به مدت سه تا ۴ ساعت در دمای اتاق قرار داده شدند تا سرد شوند. خاکستر حاصل با محلول اسید نیتریک (HNO_3)، اسید کلریدریک (HCl) و آب مقطر به ترتیب ۱۰۰، ۳۰۰ و ۶۰۰ میلی‌لیتر مخلوط گردید. سپس ۱۰ میلی‌لیتر از این محلول برداشته و روی چراغ الکلی گرم شد تا بخارات سفید آن خارج شود. پس از صاف‌کردن، حجم محلول به ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. برای اندازه‌گیری نیتروژن بر اساس روش کجلدال (Jones, 2001)، ابتدا ۰/۵گرم از بافت خشک و پودر شده هر نمونه برداشته و در لوله‌های هضم قرار داده شد. سپس به هر لوله هضم ۱/۱ گرم کاتالیست اضافه گردید و با پیپت ۷ میلی‌لیتر اسید سولفوریک رقیق شده به هر نمونه افزوده شد. پس از گذشت

۱- Outer scale

۲- Inner scale

[Downloaded from flowerjournal.org on 2026-11-18]

[DOI: 10.61186/fop.10.2.313]

یک شب، لوله‌های هضم در روز بعد زیر هود به مدت ۱ ساعت در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس روی هیتر قرار گرفتند. سپس نمونه‌ها به مدت ۳ ساعت در دمای ۳۷۰ درجه سلسیوس زیر هود هضم شدند. پس از اتمام هضم، لوله‌ها به مدت تقریبی ۳۰ دقیقه زیر هود و در دمای اتاق قرار داده شدند تا سرد شوند. در این فاصله، به تعداد نمونه‌ها، ۱۰ میلی‌لیتر اسید بوریک در ارلن‌های شیشه‌ای ریخته شد، سپس ارلن‌ها زیر لوله تقطیر دستگاه کجلدال (2200 Kjeltec Auto Distillation, Denmark) قرار گرفتند تا فرایند تقطیر انجام شود. در طی این فرایند، رنگ محلول اسید بوریک (که ناشی از وجود معرف ازت است) از ارغوانی به سبز تغییر رنگ داد. پس از پایان تقطیر، لوله هضم از دستگاه خارج شد و محلول داخل ارلن با استفاده از اسید سولفوریک ۰/۱ نرمال تا رسیدن به تغییر رنگ معکوس (از سبز به ارغوانی) تیتر شد. حجم اسید مصرفی در این مرحله یادداشت گردید. این مراحل برای تمامی نمونه‌ها به همین ترتیب انجام شد و مقادیر بدست آمده در فرمول مربوطه برای محاسبه مقدار نیتروژن کل جایگذاری شد.

رابطه (۱) نیتروژن (٪) =[(a-b)/s]×M×1.4

a = عدد مصرفی نمونه

b = عدد مصرفی شاهد

s = جرم نمونه

M = نرمالیته اسید سولفوریک

فسفر به روش رنگ سنجی (Murphy & Riley, 1962) به کمک دستگاه جذب اتمی مدل CARI50CONE اندازه‌گیری شد. در ابتدا ۱۲۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۵ نرمال و ۱۲/۵ میلی‌لیتر آنتیمونی پتاسیم تاراتارات و ۳۷/۵ میلی‌لیتر مولیبدات آمونیوم و ۲۵ میلی‌لیتر اسید آسکوربیک با هم در یک بالن مخلوط شدند. سپس ۵ سی‌سی عصاره را با ۵ سی‌سی محلول، ترکیب کرده و به مدت ۱ دقیقه آن را روی شیکر قرار داده تا محلول آبی رنگ تولید شود. میزان جذب نوری محلول در طول موج ۸۸۰ نانومتر با دستگاه اسپکتوفتومتر (Unico UV-2100, New Jersey, NJ, USA) قرائت شد. با توجه به منحنی استاندارد فسفر و میزان جذب نوری در طول موج ۸۸۰ نانومتر، میزان فسفر نمونه‌ها بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک نمونه تعیین گردید.

برای اندازه‌گیری پتاسیم از دستگاه شعله سنجی یا فلیم‌فتومتری (BWB Technologies Ltd., Newbury, UK) استفاده شد (Jones, 2001). محلول سزیم (Cs) با غلظت ۰/۸۷ گرم در لیتر (۱/۱ گرم کلرو سزیم خالص در یک لیتر آب حل شد) تهیه گردید. برای تهیه محلول پایه پتاسیم به غلظت ۵۰۰۰ میلی‌گرم ابتدا ۹/۵۳ گرم از کلرو پتاسیم (KCl) را در کمی آب حل نموده و در بالن ژوژه به حجم یک لیتر رسانده شد. تهیه سری محلول‌های پایه صفر، ۲، ۴، ۸ و ۱۰ میلی‌لیتر از محلول پایه با غلظت ۵۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر را برداشته و در بالن ژوژه به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. در نهایت سری محلول‌های پایه، نمونه شاهد و عصاره گیاه را به نسبت ۹+۱ با محلول کلرو سزیم رقیق شدند. محلول‌های نهایی حاوی صفر، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر پتاسیم بودند. از این محلول‌ها برای رسم منحنی استاندارد پتاسیم استفاده شد. در نهایت غلظت پتاسیم بر اساس رابطه زیر محاسبه شد:

رابطه (۲) (میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک) پتاسیم = (a×b×v)/1000

[Downloaded from flowerjournal.org on 2026-11-18]

[DOI: 10.61186/fop.10.2.313]

a = پی‌پی‌ام حاصل از منحنی استاندارد

b = درجه رقت

v = حجم عصاره حاصل از عمل هضم بر حسب میلی‌لیتر

همچنین غلظت عناصر آهن، روی و مس با استفاده از عصاره‌های حاصل از هضم نمونه‌ها و با بهره‌گیری از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شدند (Joseph *et al*., 2007).

واکاوی داده‌ها

هر دو بخش این پژوهش دارای پنج تکرار بودند و برای اندازه‌گیری ویژگی‌های مربوط به هر مرحله، پنج سوخ یا گیاه به‌طور تصادفی از هر ردیف (به جز دو ردیف کناری) با دقت از خاک خارج شدند. واکاوی داده‌ها با نرم‌افزار SAS نسخه 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) و مقایسه میانگین‌ها با روش حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۰/۰۵ انجام شد.

نتایج و بحث

نوسان های نیتروژن در سوخ، برگ و ریشه جام‌زرین پاییزه در مراحل خفتگی

یافته‌ها نشان داد که در مرحله‌ی ورود به خفتگی (خرداد ماه)، مقدار نیتروژن در جوانه و صفحه‌پایگاهی بیشتر از سایر قسمت‌ها بود. اما زمانی که سوخ‌ها در وضعیت خفتگی (تیر ماه) بودند، فلس‌های درونی مقدار نیتروژن بیشتری داشتند و در زمان خروج از خفتگی (مهر ماه)، هر چهار بخش سوخ به نسبت مقادیر نیتروژن کمتری داشتند (شکل ۲). از سوی دیگر، مقدار نیتروژن در برگ و ریشه، در مرحله خروج از خفتگی به صورت معنی‌داری بیشتر از مرحله ورود به خفتگی بود و در هر دو مرحله، مقدار نیتروژن به‌طور معنی‌داری در ریشه بیشتر از برگ بود (شکل ۳). می‌توان تحلیل کرد که در زمان ورود سوخ به دوره خفتگی، نیتروژن از برگ و ریشه، برای ذخیره‌سازی به ساختارهای ذخیره‌ای سوخ منتقل شده است و در زمان خروج از خفتگی این نیتروژن ذخیره شده حالت بازتحرک[۱] پیدا کرده و به ساختارهای رویشی و زایشی در حال رشد سوخ منتقل می‌شود. شایان ذکر است که نیتروژن اصلی‌ترین عنصر مورد نیاز گیاهان و یکی از عوامل محدودکننده رشد می‌باشد و از اجزای اصلی آمینواسیدها، کلروفیل، نوکلئیک‌اسیدها و سایر متابولیت‌ها در گیاهان است. گزارش شده است که تجمع نیترات در دانه‌ها عامل اختلال در خفتگی بذر است و نیتروژن به عنوان یک مولکول پیام دهنده ایفای نقش می‌کند (Alboresi *et al*., 2005). تغییرات مقادیر نیتروژن طی مراحل خفتگی و گلدهی در بافت‌های مختلف جام‌زرین‌پاییزه، می‌تواند بیان‌کننده تاثیر غیرمستقیم این عنصر بر فرآیندهای خفتگی و گلدهی باشد. نیتروژن در داخل پیکره گیاه به عنوان عنصری متحرک شناخته شده (Bertheloot *et al*., 2008) و می‌تواند در طول دوره رشد گیاه و به ویژه درانتهای هر فصل، از اندام‌های هوایی به بخش زیر زمینی گیاه منتقل شود (Masclaux-Daubresse *et al*., 2010). از آنجایی که نیتروژن به‌طور مستقیم در ساختار مولکول کلروفیل شرکت می‌کند، پس ارتباط مثبت و معنی‌داری بین مقدار نیتروژن برگ و مقدار کلروفیل وجود دارد (Yu *et al*., 2024). کمبود نیتروژن سبب تجزیه کلروپلاست و کاهش نورساخت می‌گردد (Chen *et al*., 2024) و در نتیجه با تجزیه کلروپلاست و زرد شدن برگ‌ها (خرداد

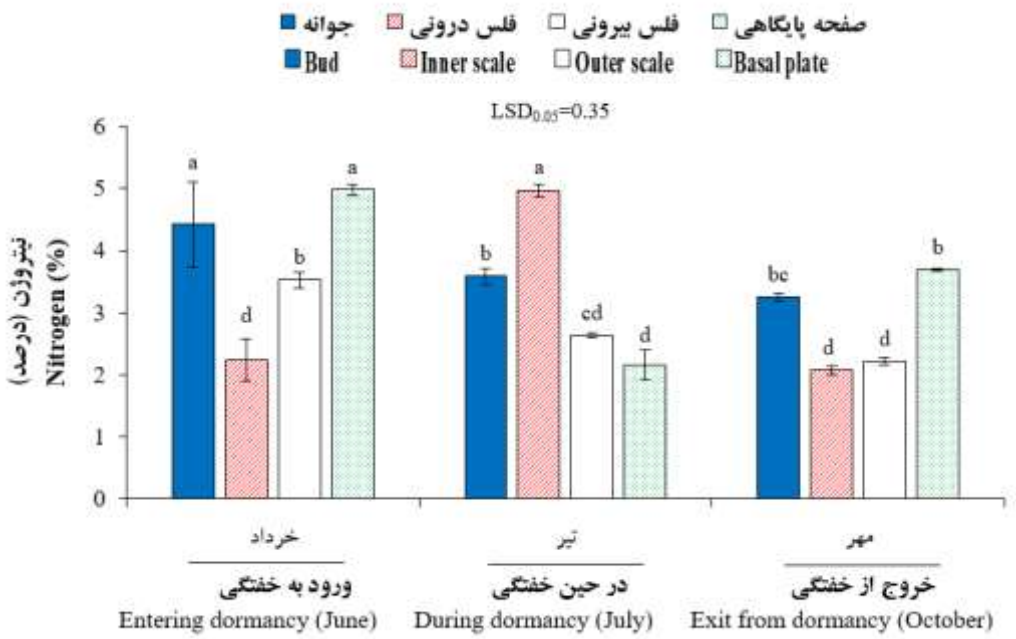
۱- Remobilization

[Downloaded from flowerjournal.org on 2026-11-18]

[DOI: 10.61186/fop.10.2.313]

ماه) و انتقال مواد معدنی به سوخ و ذخیره در آن، گیاه برای دوره‌ی خفتگی آماده می‌شود. چون نیتروژن در گیاهان به منظور ساختن اسیدهای آمینه، پروتئین‌ها، آنزیم‌ها و حلقه‌های پورفیرینی سر مولکول کلروفیل برای به دام انداختن انرژی نورانی خورشید مورد نیاز می‌باشد (Taiz & Zeiger, 2006)، بنابراین نیتروژن اولیه برای آغاز رشد و توسعه‌ی برگ‌ها و ریشه در پاییز از همان نیتروژن ذخیره شده در سوخ تامین می‌گردد.

گزارش شده که نیتروژن تأثیر مهمی بر جذب آب از خاک توسط گیاهان دارد. جذب منابع نیتروژن توسط گیاه (به‌طور عمده نیترات و آمونیوم) تابعی از جذب ریشه است (Wang *et al.*, 2024). بنابراین افزایش مقدار نیتروژن در حین خفتگی در فلس‌درونی سوخ به احتمال به حفظ آب در بافت‌های درونی سوخ کمک کرده است. چنین افزایشی در نیتروژن در شرایط کمبود آب، نوعی مکانیسم تحمل به خشکی است (Susiluoto & Berninger, 2007). گیاهان مقاوم به تنش آبی با حفظ آماس یاخته، ادامه متابولیسم آن را تحت تنش آبی ممکن می‌سازند (Stoyanov, 2005). همچنین با توجه به اینکه در زمان ورود سوخ به دوره خفتگی همزمان با تنش‌های دمای بالا و نیز خشکی است، بنابراین افزایش در محتوای نیتروژن در گیاهان ممکن است با توانایی سیستم آنتی‌اکسیدانی در حذف گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) مرتبط باشد. در همین راستا گزارش شده که افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، از جمله فعالیت سوپراکسید دیسموتاز (SOD) و محتوای گلوتاتیون (GSH) با تامین مناسب نیتروژن به‌طور مؤثر تجمع ROS را مهار کرده و در نتیجه آسیب تنش خشکی به گیاهان را کاهش می‌دهد (Shinde *et al.*, 2017).

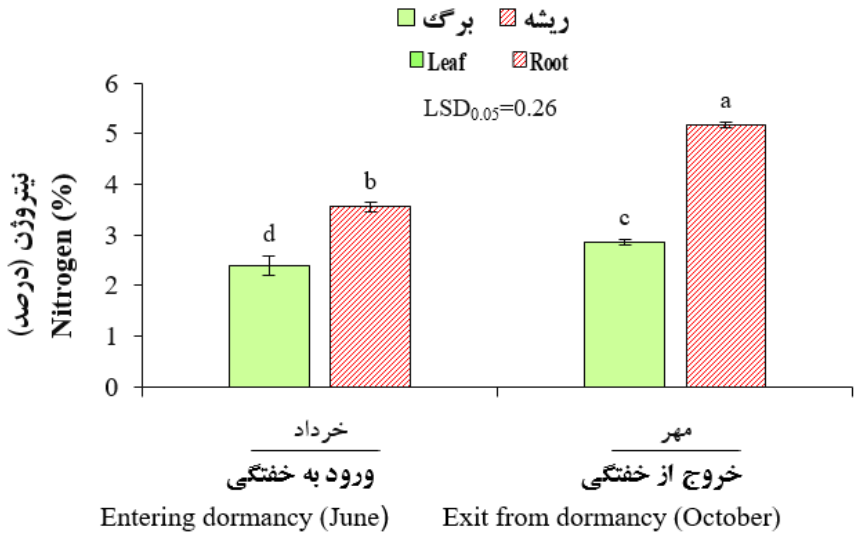


شکل ۲- نوسان های مقدار نیتروژن در نوع بافت سوخ (جوانه، فلس‌بیرونی و درونی و نیز صفحه‌پایگاهی) جام‌زرین پاییزه در سه مرحله ورود به خفتگی (خرداد)، در حین خفتگی (تیر) و خروج از خفتگی (مهر) (ستون‌های دارای حرف مشترک در سطح احتمال ۵٪ آزمون LSD اختلاف معنی‌داری ندارند و شاخص عمودی بالای ستون‌ها معرف خطای استاندارد است).

Figure 1. Fluctuations of nitrogen content in bulb tissue types (bud, outer and inner scales, and basal plate) of autumn daffodil at three stages: entering dormancy (June), during dormancy (July), and exit from dormancy (October) (Data followed by the same letters, are not significantly different using the LSD test at 5% level and the vertical index above the columns represents a standard error).

[Downloaded from flowerjournal.org on 2026-11-18]

[DOI: 10.61186/fop.10.2.313]



شکل ۳- نوسان های مقدار نیتروژن در برگ و ریشه جام‌زرین پاییزه در دو مرحله ورود به خفتگی (خرداد) و خروج از خفتگی (مهر) (ستون‌های دارای حرف مشترک در سطح احتمال ۵٪ آزمون LSD اختلاف معنی‌داری ندارند و شاخص عمودی بالای ستون‌ها معرف خطای استاندارد است).

Figure 2. Fluctuations of nitrogen content in the leaves and roots of autumn daffodil at two stages: entering dormancy (June) and exit from dormancy (October) (Data followed by the same letters are not significantly different using the LSD test at 5% level, and the vertical index above the columns represents a standard error).

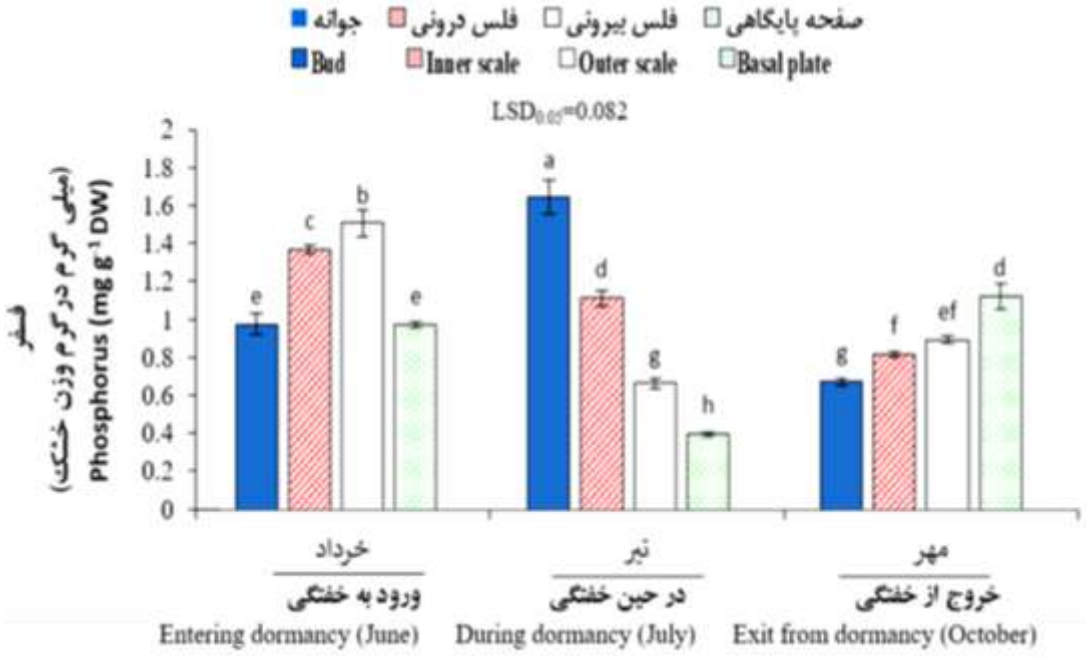
نوسان های فسفر در سوخ، برگ و ریشه جام‌زرین پاییزه در مراحل خفتگی

در مرحله ورود به خفتگی بیشترین مقدار فسفر مربوط به فلس بیرونی بود که با سه بخش دیگر سوخ تفاوت معنی‌داری داشت. در حین خفتگی، بیشترین مقدار فسفر در جوانه مشاهده شد و در زمان خروج از خفتگی، صفحه‌پایگاهی به صورت کاملا معنی‌داری بیشترین مقدار فسفر داشت (شکل ۴). مقدار فسفر در برگ و ریشه در مرحله خروج از خفتگی به‌طور معنی‌داری بیشتر از مرحله ورود به خفتگی بود. در مرحله ورود به خفتگی، تفاوت معنی‌داری بین مقدار فسفر برگ و ریشه مشاهده نشد اما در مرحله خروج از خفتگی، مقدار فسفر برگ به‌طور معنی‌داری بیشتر از ریشه بود (شکل ۵). با ورود سوخ جام‌زرین پاییزه به مرحله خفتگی عنصر فسفر ابتدا در فلس‌ها ذخیره شده و با پیشرفت دوره خفتگی مقدار آن در جوانه بیشتر شده است. در تحلیل می‌توان گفت با توجه به اینکه سوخ این گیاه از نظر تشکیل اندام‌های زایشی رفتاری مشابه سوخوارهای بهار گل دارد، یعنی تشکیل اندام‌های زایشی در اواسط تابستان می‌باشد، بنابراین به نظر می‌رسد دلیل افزایش فسفر در جوانه به خاطر تشکیل این اندام‌ها باشد. زیرا فسفر جزء اصلی اسیدهای نوکلئیک، لیپیدهای غشایی و واسطه‌های فسفوریله متابولیسم انرژی است، بنابراین با تجمع فسفر در بافت جوانه که در سوخ بخش زایشی است، بافت قدرت تقسیم یاخته سریع را در خود حفظ می‌نماید. البته شایان ذکر است که فسفر بخش مهمی از مولکول‌هایی همچون ATP و کوآنزیم‌ها است و با تشکیل استر با ترکیباتی نظیر قندها ایجاد مولکول‌های واکنشگر می‌نماید و در نتیجه در متابولیسم انرژی نقش کلیدی دارد (Paz-Ares *et al*., 2022). فسفر جزئی از ساختار پروتئین‌های یاخته به حساب می‌آید برای تشکیل بذر و توسعه ریشه نیز ضروری می‌باشد.

[Downloaded from flowerjournal.org on 2026-11-18]

[DOI: 10.61186/fop.10.2.313]

گزارش شده که رشد ریشه و هدایت هیدرولیکی ریشه، با افزایش سطح فسفر افزایش یافته است (Singh & Sale, 2000). ممکن است با انتقال فسفر به ریشه در زمان خروج سوخ از خفتگی، رشد ریشه و هدایت هیدرولیکی آن سبب جذب و انتقال بیشتر مواد معدنی از خاک برای رشد بوته و گلدهی شده باشد. در همین راستا گزارش شده که وجود فسفر سبب توسعه سیستم ریشه‌ای قوی، تسهیل گلدهی مناسب و تضمین تولید بذر کارآمد در گیاهان می‌شود (Ramos Cabrera *et al.*, 2024). افزون بر موارد بیان شده، با توجه به نقش حیاتی فسفر در فرآیندهای ذخیره‌سازی انرژی و ساخت پروتئین‌ها، و همچنین نظر به اینکه سوخ‌ها در طول دوره خفتگی اغلب در معرض تنش خشکی قرار دارند، می‌توان فرض کرد که افزایش میزان فسفر در سوخ‌ها موجب تقویت مکانیسم‌های فیزیولوژیکی گیاه در تحمل تنش‌های آبی شده و به بهبود مقاومت گیاه در برابر خشکی کمک می‌کند (Chen *et al.*, 2025).

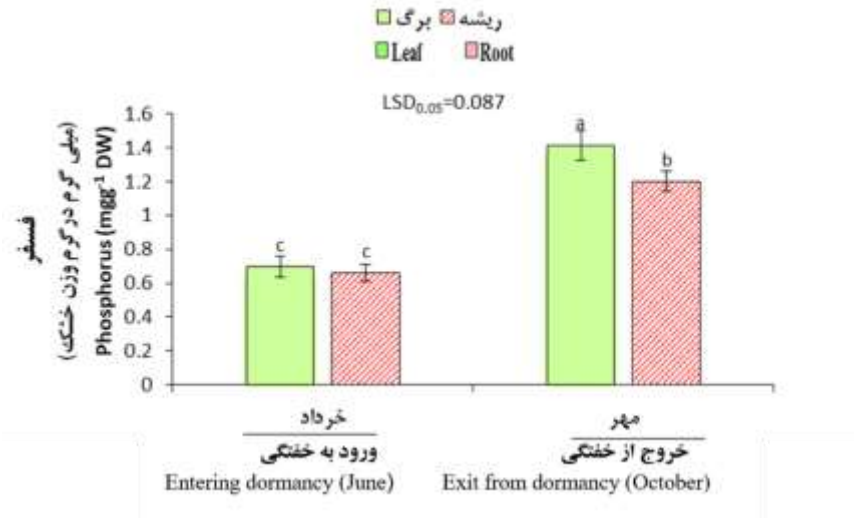


شکل ۴- نوسان های مقدار فسفر در نوع بافت سوخ (جوانه، فلس‌بیرونی و درونی و نیز صفحه‌پایگاهی) در سه مرحله ورود به خفتگی (خرداد)، در حین خفتگی (تیر) و خروج از خفتگی (مهر) جام‌زرین پاییزه (ستون‌های دارای حرف مشترک در سطح احتمال ۵٪ آزمون LSD اختلاف معنی‌داری ندارند و شاخص عمودی بالای ستون‌ها معرف خطای استاندارد است).

Figure 3. Fluctuations of phosphorus content in bulb tissue types (bud, outer and inner scales, and basal plate) at three stages: entering dormancy (June), during dormancy (July), and exit from dormancy (October) of autumn daffodil. (Data followed by the same letters are not significantly different using the LSD test at 5% level, and the vertical index above the columns represents a standard error).

[Downloaded from flowerjournal.org on 2026-11-18]

[DOI: 10.61186/fop.10.2.313]



شکل ۵- نوسان های مقدار فسفر در برگ و ریشه در دو مرحله ورود به خفتگی (خرداد) و خروج از خفتگی (مهر) جام‌زرین پاییزه (ستون‌های دارای حرف مشترک در سطح احتمال ٪۵ آزمون LSD اختلاف معنی‌داری ندارند و شاخص عمودی بالای ستون‌ها معرف خطای استاندارد است).

Figure 4. Fluctuations of phosphorus content in the leaves and roots at two stages: entering dormancy (June) and exit from dormancy (October) of autumn daffodil (Data followed by the same letters are not significantly different using the LSD test at 5% level, and the vertical index above the columns represents a standard error).

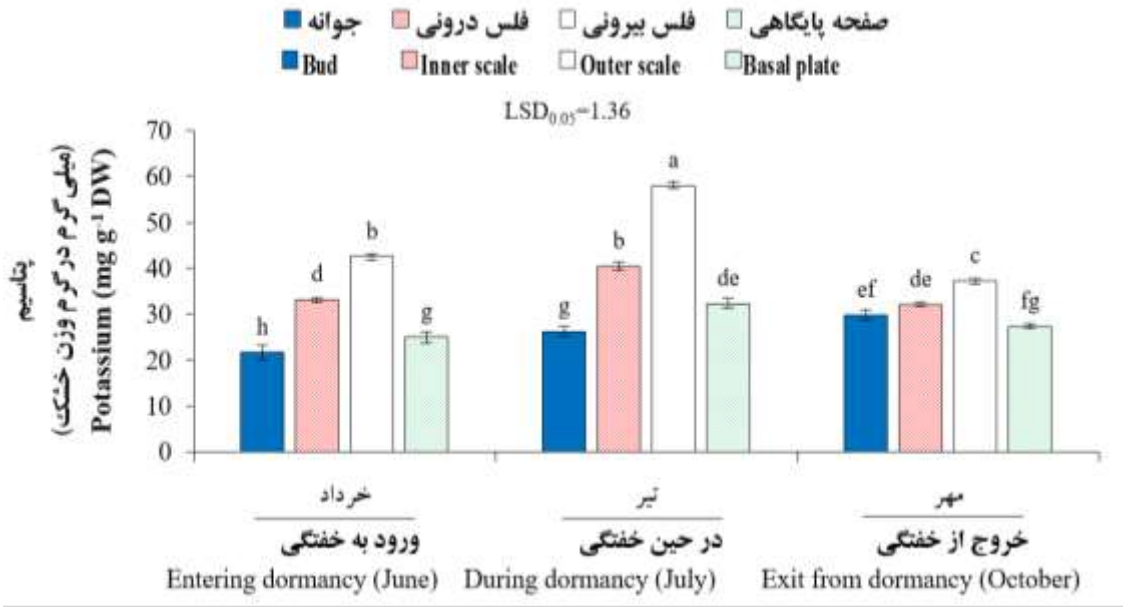
نوسان های پتاسیم در سوخ، برگ و ریشه جام‌زرین پاییزه در مراحل خفتگی

بیشترین مقدار پتاسیم در هر سه مرحله خفتگی، در فلس بیرونی مشاهده شد که این میزان به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر بخش‌ها بود (شکل ۶). پس از فلس بیرونی، فلس درونی بیشترین مقدار پتاسیم را نسبت به دو بخش دیگر داشت. همچنین بررسی مقدار پتاسیم در برگ و ریشه (شکل ۷) نشان داد که در هر دو مرحله ورود سوخ به خفتگی و خروج از خفتگی، مقدار پتاسیم برگ به‌طور معناداری بیشتر از ریشه است. پتاسیم یکی از عناصر ضروری برای گیاهان بوده و در بسیاری از فعالیت‌های مهم گیاهی مانند نورساخت، جذب آب و حفظ پتانسیل اسمزی نقش کلیدی دارد (Shah *et al.*, 2024). این عنصر نقش مهمی در نگهداری پتانسیل غشایی، خنثی‌سازی گروه‌های آنیونی، تنظیم پتانسیل اسمزی، هومئوستازی یونی، فعالیت آنزیمی و انتقال سیگنال در سطح یاخته ایفا می‌کند (Zhang *et al.*, 2006). با توجه به نقش کلیدی پتاسیم در مقابله با تنش‌های محیطی، افزایش مقدار آن در فلس بیرونی و در حین دوره خفتگی قابل توجیه است؛ چرا که دوره خفتگی، به ویژه در تیر ماه، شرایطی شبیه به تنش را برای گیاه ایجاد می‌کند. پژوهش‌های مختلف نشان داده‌اند که غلظت پتاسیم در شرایط تنش خشکی افزایش می‌یابد و در شرایط کمبود پتاسیم، حساسیت گیاهان به تنش‌های محیطی افزایش می‌یابد (Fang *et al.*, 2023). همچنین گزارش شده است که گیاهان دارای اندام زیرزمینی سوخ، میزان جذب پتاسیم را تقریباً به اندازه جذب نیتروژن دارند (Salo *et al.*, 2002) که این موضوع می‌تواند با دوره خفتگی گیاهان سوخ‌دار مرتبط باشد. هرچند که پتاسیم به‌طور مستقیم در ساختار بافت‌ها شرکت نمی‌کند، اما نقش‌های مهم و متعددی در فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه ایفا می‌کند. این نقش‌ها شامل نورساخت، انتقال

[Downloaded from flowerjournal.org on 2026-11-18]

[DOI: 10.61186/fop.10.2.313]

مواد غذایی به مخازن ذخیره‌ای، حفظ آمادگی فیزیولوژیکی، هدایت روزنه‌ای، تنظیم اسمزی، فعالیت آنزیمی، توسعه یاخته، خنثی‌سازی یون‌های دارای بار منفی غیرقابل انتشار و قطبی نمودن غشاء است (Mengel & Kirkby, 2000). گیاهان برای ساخت پروتئین، فعالیت آنزیمی یاخته‌های ریشه‌ای، حفظ pH سیتوپلاسمی و بار یونی پروتئین‌ها، به سطح کافی یون پتاسیم در سیتوپلاسم نیاز دارند. همچنین گزارش شده است که میزان جذب عناصر معدنی توسط گیاهان تحت تأثیر سطح پتاسیم قرار می‌گیرد (Rawat *et al.*, 2022). افزایش مقدار پتاسیم در برگ‌ها در مرحله خروج از خفتگی (شکل ۷) ممکن است با افزایش فعالیت نورساختی مرتبط باشد زیرا پتاسیم سیتوپلاسمی نقش مهمی در افزایش نرخ نورساخت، افزایش مستقیم رشد گیاه، شاخص سطح برگ، میزان جذب CO_2 و انتقال محصولات نورساختی به خارج برگ دارد (Rawat *et al.*, 2022).

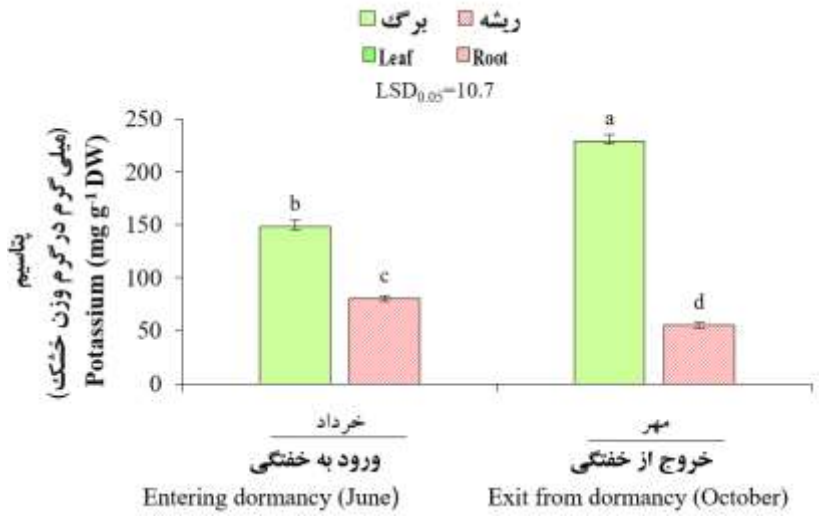


شکل ۶- نوسان های مقدار پتاسیم در نوع بافت سوخ (جوانه، فلس‌بیرونی و درونی و نیز صفحه‌پایگاهی) در سه مرحله ورود به خفتگی (خرداد)، در حین خفتگی (تیر) و خروج از خفتگی (مهر) جام‌زرین پاییزه (ستون‌های دارای حرف مشترک در سطح احتمال ٪۵ آزمون LSD اختلاف معنی‌داری ندارند و شاخص عمودی بالای ستون‌ها معرف خطای استاندارد است).

Figure 5. Fluctuations of potassium content in bulb tissue types (bud, outer and inner scales, and basal plate) at three stages: entering dormancy (June), during dormancy (July), and exit from dormancy (October) of autumn daffodil. (Data followed by the same letters are not significantly different using the LSD test at 5% level, and the vertical index above the columns represents a standard error).

[Downloaded from flowerjournal.org on 2026-11-18]

[DOI: 10.61186/fop.10.2.313]



شکل ۷- نوسان های مقدار پتاسیم در برگ و ریشه در دو مرحله ورود به خفتگی (خرداد) و خروج از خفتگی (مهر) جام‌زرین پاییزه (ستون‌های دارای حرف مشترک در سطح احتمال ٪۵ آزمون LSD اختلاف معنی‌داری ندارند و شاخص عمودی بالای ستون‌ها معرف خطای استاندارد است).

Figure 6. Fluctuations of potassium content in the leaves and roots at two stages: entering dormancy (June) and exit from dormancy (October) of autumn daffodil (Data followed by the same letters are not significantly different using the LSD test at 5% level, and the vertical index above the columns represents a standard error).

نوسان های مس در سوخ، برگ و ریشه جام‌زرین پاییزه در مراحل خفتگی

مقدار عنصر مس در هر سه مرحله در صفحه‌پایگاهی سوخ، بیشتر از سایر بخش‌ها بود و بیشترین میزان آن در صفحه‌پایگاهی سوخ‌هایی مشاهده شد که در مرحله ورود به خفتگی قرار داشتند. مقدار مس در جوانه داخل سوخ از مرحله ورود به خفتگی تا مرحله خروج از خفتگی روندی افزایشی داشت و تفاوت بین هر سه مرحله معنی‌دار بود. در فلس درونی، این نوسان های معنی‌دار نبودند، اما در فلس بیرونی با وجود کاهش مقدار مس در سوخ‌های در حال خفتگی، مجدداً در مرحله خروج از خفتگی افزایش یافت (شکل ۸). مقدار مس در برگ و ریشه در مرحله ورود به خفتگی تفاوت معنی‌داری نداشت، اما در مرحله خروج از خفتگی، مقدار مس در ریشه به‌طور معنی‌داری بیشتر از برگ بود (شکل ۹).

افزایش مقدار مس در صفحه‌پایگاهی سوخ‌ها در مرحله ورود به خفتگی به احتمال مرتبط با نقش این عنصر در تحریک خفتگی در سوخ باشد زیرا در این راستا گزارش شده است که غلظت مس در حد ۳۰ میکرومول در بذرهای برنج موجب مهار جوانه‌زنی می‌شود که این مهار ناشی از افزایش میزان ABA است که تنظیم‌کننده اصلی جوانه‌زنی و خفتگی در گیاهان است. مس با سرکوب فعالیت ژن‌های مربوط به کاتابولیسم ABA (مانند ژن Abscisic acid 8'-hydroxylase 2) سبب افزایش سطح ABA می‌شود (Nenghui *et al.*, 2014). افزون بر این، شایان ذکر است که عنصر مس یک عنصر ضروری برای گیاهان است و نقش‌های کلیدی در زنجیره‌های انتقال الکترون نورساختی و تنفسی، در تشخیص اتیلن[۱]، متابولیسم دیواره یاخته و محافظت در برابر تنش اکسایشی ایفا می‌کند (Yruela, 2009). همچنین عنصر مس به عنوان کاتالیزور فعال‌کننده آنزیم‌ها، در بسیاری از

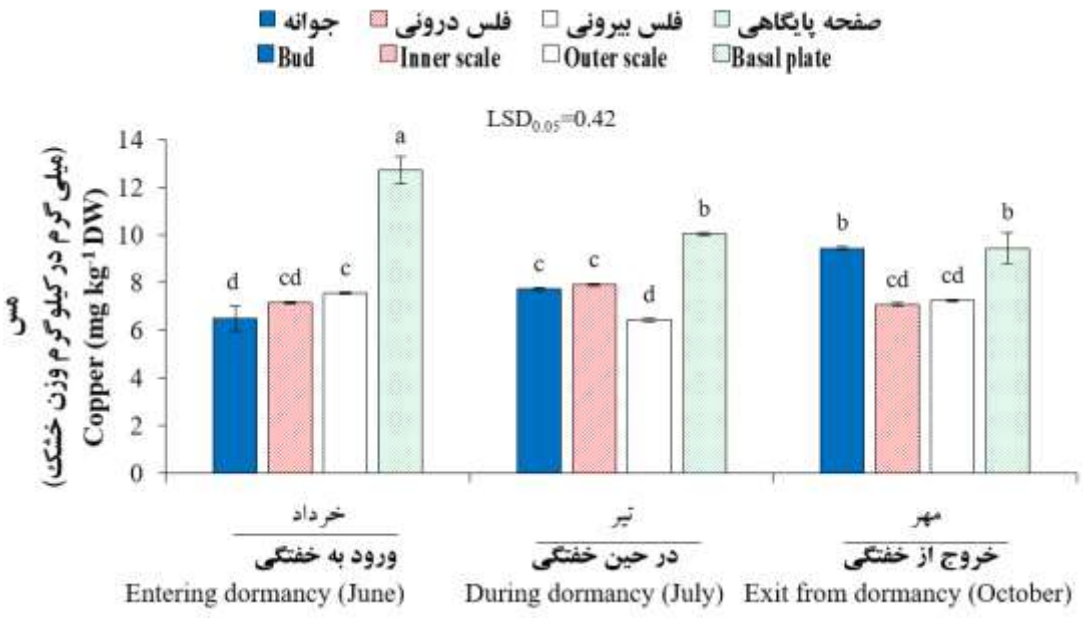
۱- Ethylene sensing

[Downloaded from flowerjournal.org on 2026-11-18]

[DOI: 10.61186/fop.10.2.313]

واکنش‌های آنزیمی و متابولیسم گیاه نقش دارد که برای حفظ سلامت بافت‌ها در دوره خفتگی اهمیت دارد (Chen *et al.*, 2022). به نظر می‌رسد یکی دیگر از دلایل افزایش مقدار عنصر مس در صفحه‌پایگاهی سوخ‌ها در مرحله ورود به خفتگی، مربوط به نقش این عنصر در فعال کردن آنزیم‌های ضد اکسایشی مانند SOD باشد که سبب افزایش مقاومت سوخ به تنش خشکی می‌شوند.

ممکن است با ورود سوخ به مرحله خفتگی و درک تنش خشکی، نیاز یاخته‌ها به مقابله با تنش‌های اکسایشی افزایش یابد و در این شرایط، عنصر مس به عنوان کوعامل حیاتی آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (Cu/Zn SOD) فعال می‌شود و نقش مهمی در بهبود پاسخ‌های دفاعی ایفا می‌کند. این آنزیم به واسطه حضور یون‌های مس در سایت فعال خود قادر است واکنش‌های کاتالیتیکی اکسایشی را انجام دهد که طی آن رادیکال‌های سوپراکسید به ترکیبات کمتر واکنش پذیر و کم ضررتر یعنی پراکسید هیدروژن (H_2O_2) و اکسیژن مولکولی (O_2) تبدیل می‌شوند (Alscher *et al.*, 2002). ریشه در مقایسه با اندام هوایی حساسیت بیشتری به یون‌های مس دارد که شاید به علت تجمع بیشتر این یون در ریشه در مقایسه با بخش هوایی باشد. گزارش شده است که تیمار مس در زمان جوانه‌زنی بذرها تأثیر معنی‌داری بر طول ریشه دارد (Yadegari, 2013) بنابراین می‌توان گفت عنصر مس در رشد و توسعه ریشه سهم بسزایی دارد.

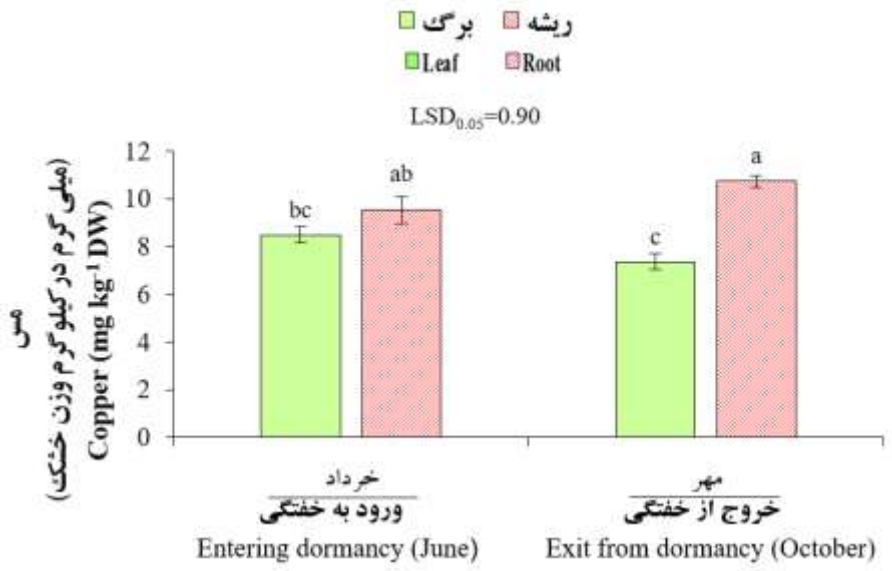


شکل ۸- نوسان های مقدار مس در نوع بافت سوخ (جوانه، فلس‌بیرونی و درونی و نیز صفحه‌پایگاهی) در سه مرحله ورود به خفتگی (خرداد)، در حین خفتگی (تیر) و خروج از خفتگی (مهر) جام‌زرین پاییزه (ستون‌های دارای حرف مشترک در سطح احتمال ٪۵ آزمون LSD اختلاف معنی‌داری ندارند و شاخص عمودی بالای ستون‌ها معرف خطای استاندارد است).

Figure 7. Fluctuations of copper content in bulb tissue types (bud, outer and inner scales, and basal plate) at three stages: entering dormancy (June), during dormancy (July), and exit from dormancy (October) of autumn daffodil. (Data followed by the same letters are not significantly different using the LSD test at 5% level, and the vertical index above the columns represents a standard error).

[Downloaded from flowerjournal.org on 2026-11-18]

[DOI: 10.61186/fop.10.2.313]



شکل ۹- نوسان های مقدار مس در برگ و ریشه در دو مرحله ورود به خفتگی (خرداد) و خروج از خفتگی (مهر) جام‌زرین پاییزه (ستون‌های دارای حرف مشترک در سطح احتمال ٪۵ آزمون LSD اختلاف معنی‌داری ندارند و شاخص عمودی بالای ستون‌ها معرف خطای استاندارد است).

Figure 8. Fluctuations of copper content in the leaves and roots at two stages: entering dormancy (June) and exit from dormancy (October) of autumn daffodil (Data followed by the same letters are not significantly different using the LSD test at 5% level, and the vertical index above the columns represents a standard error).

نوسان های آهن در سوخ، برگ و ریشه جام‌زرین پاییزه در مراحل خفتگی

نوسان های مقدار آهن از مرحله ورود به خفتگی تا خروج از خفتگی در جوانه و فلس درونی معنی‌دار نبود، اما در دو بخش دیگر سوخ و به ویژه در صفحه‌پایگاهی روندی افزایش نشان داد. در سوخ‌های در حین خفتگی و همچنین در خروج از خفتگی، مقدار آهن در صفحه‌پایگاهی به‌طور معنی‌داری نسبت به سایر بخش‌های سوخ بیشتر بود، هرچند تفاوت مقدار آهن در صفحه‌پایگاهی بین این دو مرحله معنی‌دار نبود(شکل ۱۰). مقایسه مقدار آهن در برگ و ریشه در مرحله ورود به خفتگی و خروج از خفتگی نشان داد که مقدار آهن در ریشه به‌طور کاملا معنی‌داری در هر دو مرحله بیشتر از برگ می‌باشد. همچنین مقدار آهن در هر دو اندام به‌طور معنی‌داری در مرحله ورود به خفتگی بیشتر از مرحله خروج از خفتگی بود (شکل ۱۱).

با توجه به اینکه در مرحله خفتگی، سوخ دارای ریشه فعال برای جذب آهن نمی‌باشد، می‌توان نتیجه گرفت که افزایش احتمالی مقدار آهن در صفحه‌پایگاهی و فلس بیرونی سوخ در وضعیت در حین خفتگی، نسبت به مرحله ورود به خفتگی، ناشی از انتقال مجدد و جابجایی مجدد آهن در بافت‌های داخلی سوخ باشد و به نظر می‌رسد یک مکانیزم درونی برای رفع خفتگی و شروع فعالیت‌های سوخ با تاثیر بر مقدار ROSها باشد، زیرا گزارش شده که ROS ها نقش کلیدی در خفتگی بذر و طول عمر آنها دارند و باید مقدار ROSها در یک حد مشخص باشد تا بذرها تنژیدن را شروع کنند. در همین راستا حتی اصلاح «بازه غلظت ROS»[1] مطرح شده است که بدان معنی است باید غلظت ROSها در سطح مشخصی باشد تا بذرها بتوانند فرایند تنژیدن

۱- ROS concentration window ۲- Remobilization

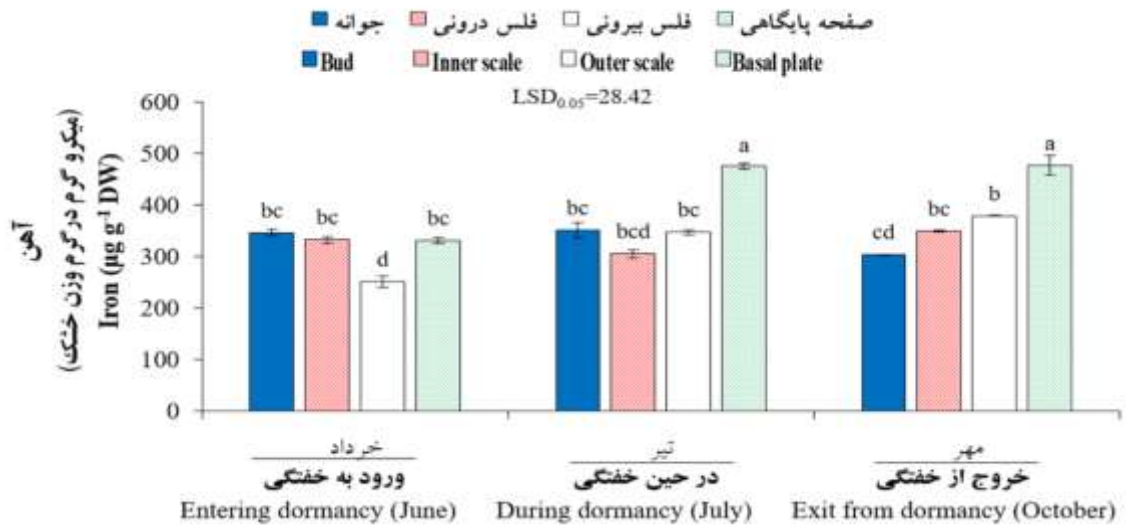
[Downloaded from flowerjournal.org on 2026-11-18]

[DOI: 10.61186/fop.10.2.313]

را شروع کنند به گونه‌ای که در سطح بالاتر سبب آسیب به بذر و از دست رفتن قابلیت تنژیدن شده و در سطح پایین تر بذرها در حالت خفته باقی خواهند ماند (Ventura *et al.*, 2012). پژوهشگران نشان داده‌اند که مقدار آهن در بافت گیاهان مادری می تواند بر وضعیت خفتگی و طول عمر بذر تاثیر داشته باشد زیرا غلظت مناسب آهن سبب ایجاد تعادل در مقدار ROSها می‌شود (Murgia & Morandini, 2017). البته شایان ذکر است که آهن یکی از عناصر کم‌مصرف ضروری و کم‌تحرک در چرخه زندگی گیاهان است و نقش کلیدی در فرآیندهای حیاتی بیولوژیکی (مانند نورساخت، تنفس یاخته ای، ساخت نوکلئوتید و انتقال مواد مغذی) ایفا می‌کند (Ning *et al.*, 2023). با توجه به اینکه آهن کوعامل بسیاری از آنزیم‌های گیاهی مثل پراکسیداز و کاتالاز است (Lebedev *et al*., 2014) ممکن است از این طریق هم بر مقدار ROSها و خفتگی نقش داشته باشد.

مقدار زیاد آهن در ریشه در مقایسه با برگ در مرحله ورود به خفتگی، می‌تواند بیانگر جذب و بازتحرک[۲] آهن از برگ‌های در حال زرد شدن و تجزیه کلروفیل به ریشه باشد. در همین راستا، مقدار بالاتر آهن در ریشه نسبت به شاخساره در برخی نژادگان‌های برنج گزارش شده است که به دلیل انتقال محدود آهن به شاخساره، تجمع آن در ریشه‌ها و سیستم سیگنال‌دهی منشاءیافته از شاخساره به ریشه می‌باشد که به شدت هومئوستازی آهن و بیان ژن‌های جذب آهن در ریشه ها را کنترل می‌کند (Chen *et al*., 2018).

افزون بر این بیان شده که در گندم، مقدار آهن در تمامی اندام‌های رویشی گیاه طی پروسه پر شدن دانه (همزمان با پیرشدن برگ‌ها) به میزان ۷۷ درصد کاهش می‌یابد که ناشی از بازتحرک آنهاست (Garnett & Graham, 2005). بنابراین به احتمال می‌توان ادعا کرد که در گیاهان سوخوار با زرد شدن برگساره در زمان ورود به خفتگی، بخشی از آهن موجود در برگ‌ها به سمت اندام ذخیره‌ای و ریشه بازتحرک می‌شود.

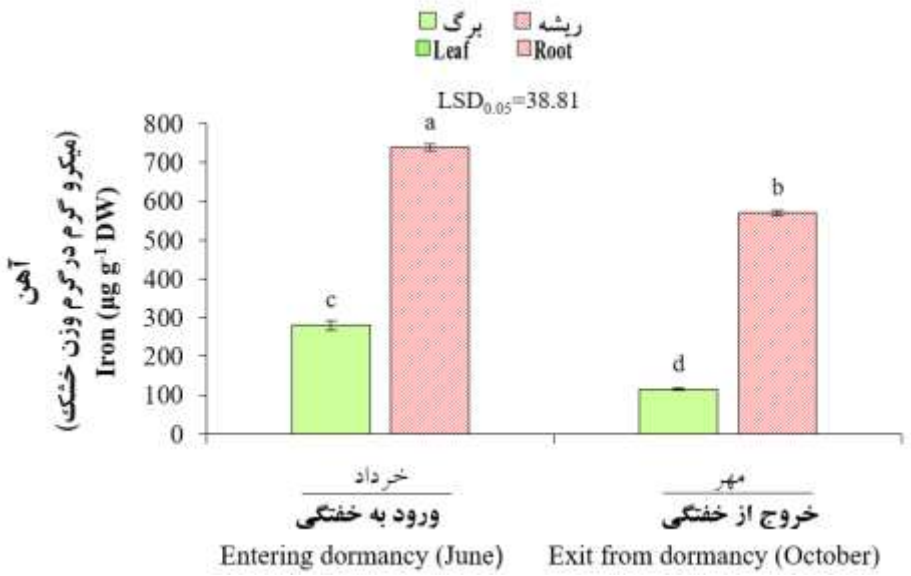


شکل ۱۰- نوسان های مقدار آهن در نوع بافت سوخ (جوانه، فلس‌بیرونی و درونی و نیز صفحه‌پایگاهی) در سه مرحله ورود به خفتگی (خرداد)، در حین خفتگی (تیر) و خروج از خفتگی (مهر) جام‌زرین پاییزه (ستون‌های دارای حرف مشترک در سطح احتمال ۵٪ آزمون LSD اختلاف معنی‌داری ندارند و شاخص عمودی بالای ستون‌ها معرف خطای استاندارد است).

Figure 9. Fluctuations of iron content in bulb tissue types (bud, outer and inner scales, and basal plate) at three stages: entering dormancy (June), during dormancy (July), and exit from dormancy (October) of autumn daffodil. (Data followed by the same letters are not significantly different using the LSD test at 5% level, and the vertical index above the columns represents a standard error).

[Downloaded from flowerjournal.org on 2026-11-18]

[DOI: 10.61186/fop.10.2.313]



شکل ۱۱- نوسان های مقدار آهن در برگ و ریشه در دو مرحله ورود به خفتگی (خرداد) و خروج از خفتگی (مهر) جام‌زرین پاییزه (ستون‌های دارای حرف مشترک در سطح احتمال ۵٪ آزمون LSD اختلاف معنی‌داری ندارند و شاخص عمودی بالای ستون‌ها معرف خطای استاندارد است).

Figure 2. Fluctuations of iron content in the leaves and roots at two stages: entering dormancy (June) and exit from dormancy (October) of autumn daffodil (Data followed by the same letters are not significantly different using the LSD test at 5% level, and the vertical index above the columns represents a standard error).

نوسان های روی در سوخ، برگ و ریشه جام‌زرین پاییزه در مراحل خفتگی

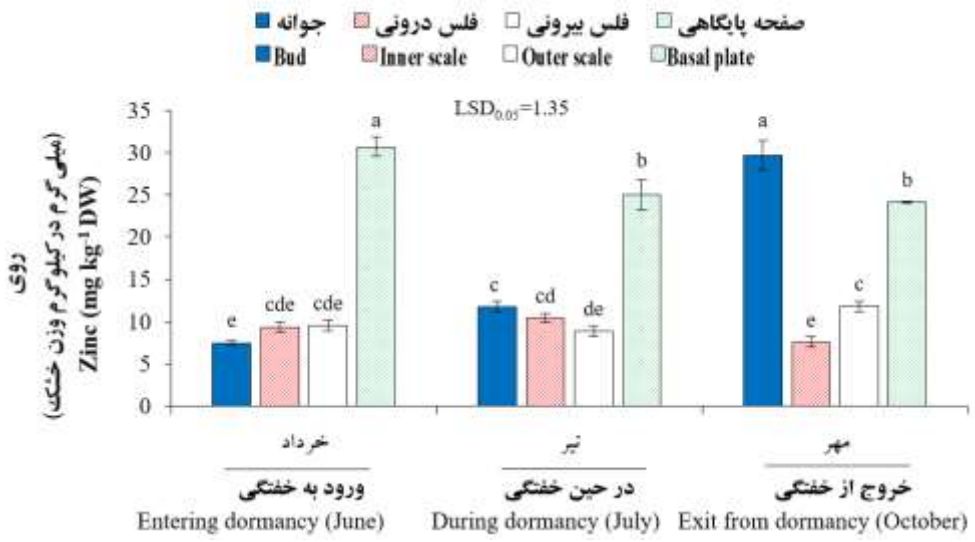
نوسان های مقدار عنصر روی از مرحله ورود به خفتگی تا خروج از خفتگی در فلس‌ها چشمگیر نبود، اما در جوانه این روند افزایشی و در صفحه‌پایگاهی روند کاهشی مشاهده شد. بیشترین مقدار عنصر روی در صفحه‌پایگاهی سوخ‌ها در زمان ورود به خفتگی مشاهده گردید (شکل ۱۲) که می‌تواند نشانگر نقش تجمعی عنصر روی در این بخش برای آماده‌سازی گیاه برای فاز خفتگی باشد. در همین راستا گزارش شده که در درختان میوه خزان‌دار مانند سیب، هلو، انگور، پسته و بلوبری، عنصر روی پیش از ورود این درختان به خفتگی، به‌طور عمده در جوانه‌ها ذخیره می‌شود و هنگامی که جوانه‌ها از حالت خفتگی به مرحله شکفتن در بهار منتقل می‌شوند، روی قابل جذب آزاد می‌گردد تا از باز شدن جوانه و رشد مریستمی حمایت کند زیرا عنصر روی برای رشد و توسعه اولیه جوانه ضروری است. افزون بر این، در این پژوهش بر نقش روی در فعالیت آنزیم‌ها، ساخت هورمون‌ها (مانند اکسین) و تضمین عملکرد غشاها تضمین تاکید شده است (Xie *et al.*, 2020). مقایسه مقدار عنصر روی در برگ‌ها و ریشه‌ها در سوخ‌ها هنگام ورود به خفتگی تفاوت معنی‌داری نشان نداد، ولی در زمان خروج از خفتگی، مقدار این عنصر به‌طور معنی‌داری در ریشه‌ها بیش از برگ‌ها بود (شکل ۱۳) که به نظر می‌رسد این یکی از مکانیزم‌های مناسب این گونه برای استفاده از روی برای رشد جوانه و گلدهی باشد.

شایان ذکر است که وجود عنصر روی می‌تواند با ایجاد تغییرات رشدی، تأثیر در ساخت پیش‌ماده کلروفیل (Said-Al Ahl & Mahmoud, 2010)، افزایش متابولیسم پروتئین‌ها، تقسیم یاخته‌ای و لقاح و نیز در تحمل گیاهان به تنش مانند تنش خشکی نیز

[Downloaded from flowerjournal.org on 2026-11-18]

[DOI: 10.61186/fop.10.2.313]

موثر باشد. بـه نظـر می‌رسد عنصـر روی، ظرفیت جذب و انتقال آب را در گیاهان تحـت تـأثیر قـرارداده و نیز اثرات منفی دوره‌های تنش‌گرمایی (Peck & McDonald, 2010) را کاهش می‌دهد. شاید بر این اساس بتوان گفت که افزایش مقدار روی در صفحه‌پایگاهی در زمان ورود سوخ به خفتگی در جهت کمک به سوخ برای تحمل دمای بالا و خشکی باشد و افزایش مقدار این عنصر در زمان خروج سوخ از خفتگی در جوانه، برای رشد جوانه و حمایت از جوانه برای گلدهی باشد. همچنین عنصر روی برای ساخت تریپتوفان که پیش ماده اکسین است مورد نیاز است و این عنصر فلزی به دلیل نقش فعالی که در تولید اکسین به عنوان یک هورمون ضروری رشد دارد (Brennan, 2005) در زمان گلدهی برای رشد جوانه لازم است. روی به عنوان یک ریزمغذی برای تغذیه گیاه، در مقادیر حداقل ۲۰ تا ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک گیاه مورد نیاز است. عنصر روی در غلظت‌های بهینه، ساخت کلروفیل، باز و بسته شدن روزنه‌ها و ساخت پروتئین‌های مختلف دخیل در زیست‌زایی[۱] هورمون‌های گیاهی مانند اکسین‌ها، جیبرلین‌ها و سیتوکینین را تحریک می‌کند (Alloway, 2004). همچنین روی در ساخت اسید نوکلئیک، متابولیسم کربوهیدرات و لیپید دخیل است و کمپلکس‌هایی را با DNA و RNA تشکیل داده و پایداری آن‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهد. روی در متابولیسم گیاه، تشکیل نشاسته و نیز گلدهی و میوه‌دهی تاثیر دارد و در شرایط کمبود روی این دو فرایند کاهش می‌یابد (Fageria, 2009). یکی از نقش‌های اساسی عنصر روی در تنژیدن بذرها، افزایش رشد ریشه‌چه است (Cakmak, 2008) که بر این اساس شاید یکی از دلایل احتمالی زیاد بودن میزان روی در ریشه، بخاطر اثر آن در تولید هورمون اکسین باشد.



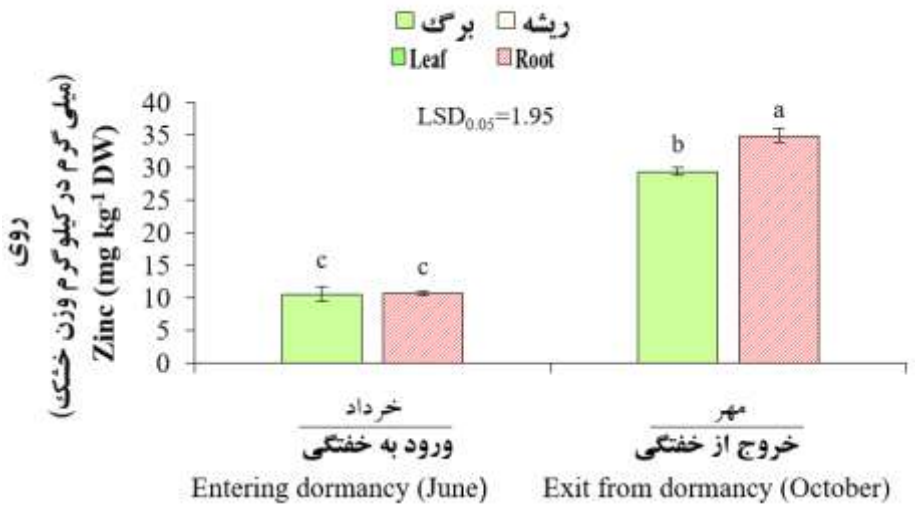
شکل ۱۲- نوسان های مقدار روی در نوع بافت سوخ (جوانه، فلس‌بیرونی و درونی و نیز صفحه‌پایگاهی) در سه مرحله ورود به خفتگی (خرداد)، در حین خفتگی (تیر) و خروج از خفتگی (مهر) جام‌زرین پاییزه (ستون‌های دارای حرف مشترک در سطح احتمال ۵٪ آزمون LSD اختلاف معنی‌داری ندارند و شاخص عمودی بالای ستون‌ها معرف خطای استاندارد است).

Figure 11. Fluctuations of zinc content in bulb tissue types (bud, outer and inner scales, and basal plate) at three stages: entering dormancy (June), during dormancy (July), and exit from dormancy (October) of autumn daffodil. (Data followed by the same letters are not significantly different using the LSD test at 5% level, and the vertical index above the columns represents a standard error).

۱- Biogenesis

[Downloaded from flowerjournal.org on 2026-11-18]

[DOI: 10.61186/fop.10.2.313]



شکل ۱۳- نوسان های مقدار روی در برگ و ریشه در دو مرحله ورود به خفتگی (خرداد) و خروج از خفتگی (مهر) جام‌زرین پاییزه (ستون‌های دارای حرف مشترک در سطح احتمال ۵٪ آزمون LSD اختلاف معنی‌داری ندارند و شاخص عمودی بالای ستون‌ها معرف خطای استاندارد است).

Figure 2. Fluctuations of zinc content in the leaves and roots at two stages: entering dormancy (June) and exit from dormancy (October) of autumn daffodil (Data followed by the same letters are not significantly different using the LSD test at 5% level, and the vertical index above the columns represents a standard error).

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر نشان داد که نوسان های عناصر غذایی از جمله نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، روی و مس در بافت‌های مختلف سوخ، برگ و ریشه گیاه جام‌زرین پاییزه در طول دوره‌های ورود به خفتگی، حین خفتگی و خروج از خفتگی به‌طور قابل توجهی تغییر می‌کند. نتایج بیانگر آن است که در مرحله ورود به خفتگی میزان نیتروژن، مس و روی در صفحه‌پایگاهی و فسفر در فلس بیرونی بیشتر بوده، در حالی که در مرحله حین خفتگی بیشترین مقدار نیتروژن و فسفر به ترتیب در فلس درونی و جوانه مشاهده شد. در مرحله خروج از خفتگی نیز بیشترین غلظت نیتروژن، فسفر و آهن در صفحه‌پایگاهی و بیشترین مقدار روی در جوانه ثبت شده است. این یافته‌ها حاکی از توزیع متفاوت عناصر در بخش‌های مختلف سوخ و تغییرات متناسب با مراحل رشد و خفتگی گیاه است که می تواند در بهبود مدیریت تغذیه‌ای و استفاده بهینه از این گونه زینتی نقش داشته باشد. افزون بر این، بررسی نوسان های عناصر غذایی در برگ و ریشه نیز نشان داد که در برگ بیشترین مقادیر نیتروژن، فسفر، پتاسیم و روی در مرحله خروج از خفتگی و بیشترین مقدار آهن و مس در مرحله ورود به خفتگی مشاهده شده است، در حالی که در ریشه بیشترین مقادیر نیتروژن، فسفر، مس و روی مربوط به مرحله خروج از خفتگی و بیشترین پتاسیم و آهن به مرحله ورود به خفتگی نسبت داده شده است. این تغییرات دینامیک و مرحله‌ای نشان‌دهنده فعالیت متابولیکی داخلی حتی در دوره خفتگی است و تأکید بر اهمیت تنظیم دقیق تغذیه گیاه برای حمایت از فرآیندهای رشد، رشد مجدد و گلدهی دارد. بنابراین شناخت الگوهای نوسان های عناصر غذایی در چرخه رشدی، تکثیر، پرورش و انبارداری می‌تواند به بهینه‌سازی برنامه‌های تغذیه‌ای و افزایش کیفیت و پایداری تولید گیاه جام‌زرین پاییزه در فضای سبز کمک شایانی نماید. بر اساس نتایج این پژوهش

[Downloaded from flowerjournal.org on 2026-11-18]

[DOI: 10.61186/fop.10.2.313]

می‌توان برنامه کوددهی را به‌گونه‌ای تنظیم کرد که هماهنگ با مراحل رشد و خفتگی گیاه باشد به‌گونه‌ای که سبب بهبود عملکرد رشد در فصل جاری و افزایش کیفیت و یکنواختی گلدهی در سال بعد منجر شود. چنین رویکردی، کارایی مصرف عناصر را بهبود بخشیده و می‌تواند به بهره‌وری بالاتر در تولید این گونه زینتی کمک نماید.

منابع

Alboresi, A., Gestin, C., Leydecker, M.T., Bedu, M., Meyer, C., Truong, H.N. (2005). Nitrate, a signal relieving seed dormancy in *Arabidopsis*. *Journal of Plant Cell and Environment*, *28*, 500-512.

Alipanah, S., Nazari, F., Koushesh Saba, M., Teixeira da Silva, J.A. (2023). Biochemical changes of autumn daffodil (*Sternbergia lutea*) during bulb dormancy and flowering. *Genetic Resources and Crop Evolution*, *71*(5), 2355. https://doi.org/10.1007/s10722-023-01487-9

Alloway, B.J. (2004). Zinc in soils and crop nutrition. Publication of the International Zinc Association.

Alscher, R.G., Erturk, N., Heath, L.S. (2002). Role of superoxide dismutases (SODs) in controlling oxidative stress in plants. *Journal of Experimental Botany*, *53*(372), 1331-1341.

Baxendale, I.R., Ley, S.V., Nessi, M., Piutti, C. (2002). Total synthesis of the Amaryllidiaceae alkaloid (+)-plicamine using solid supported reagents. *Tetrahedron*, *58*, 6285-6304.

Bertheloot, J., Martre, P., Andrieu, B. (2008). Dynamics of light and nitrogen distribution during grain filling within wheat canopy. *Plant Physiology*, *148*, 1707-1720.

Brennan, R.F. (2005). Zinc application and its availability to plants. Ph.D. Dissertation, School of Environmental Science, Division of Science and Engineering, Murdoch University.

Çakmak, I. (2008). Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification. *Plant and Soil*, *302*, 1-17.

Chapin, F.S., Schulze, E.D., Mooney, H.A. (1990). The ecology and economics of storage in plants. *Annual Review of Ecology and Systematics*, *21*, 423-447.

Chen, G., Li, J., Han, H., Du, R., Wang, X. (2022). Physiological and molecular mechanisms of plant responses to copper stress. *International Journal of Molecular Sciences*, *23*(25), 12950.

Chen, L., Wang, G., Chen, P., Zhu, H., Wang, S., Ding, Y. (2018). Shoot-Root communication plays a key role in physiological alterations of rice (*Oryza sativa*) under iron deficiency. *Frontiers in Plant Science*, *9*, 757.

Chen, L.H., Xu, M., Cheng, Z., Yang, L.T. (2024). Effects of nitrogen deficiency on the photosynthesis, chlorophyll a fluorescence, antioxidant system, and sulfur compounds in *Oryza sativa*. *International Journal of Molecular Sciences*, *25*(19), 10409.

Chen, Q., Nie, T., Li, Y., Li, H., Sun, Y., Wu, Y., Zhang, Y., Wang, M. (2025). Optimized phosphorus application under water stress enhances photosynthesis, physiological traits, and yield in soybean during flowering stage. *Agronomy*, *15*(2), 444.

Cho, Y.C., Seol, J., Lim, C.H. (2024). Climate-induced distribution dynamics and niche adaptation of South Korean endemic plants across the Korean Peninsula. *Scientific Reports*, *14*, 22253.

Diaz, E., Roldan, A. (2000). Effects of reforestation techniques on the nutrient content, photosynthetic rate and stomatal conductance of *Pinus halepensis* seedlings under semiarid conditions. *Journal of Land Degradation and Development, 11*(5), 475-486.

Fageria, N.K. (2009). The use of nutrients in crop plants. CRC Press Taylor & Francis Group, LLC.

Fang, S., Yang, H., Duan, L., Shi, J., Guo, L. (2023). Potassium fertilizer improves drought stress alleviation potential in sesame by enhancing photosynthesis and hormonal regulation. *Plant Physiology and Biochemistry, 200*, 107744.

Farahmand, H., Nazari, F. (2015). Environmental and anthropogenic pressures on geophytes of Iran and the possible protection strategies: A review. *International Journal of Horticultural Science and Technology, 2*, 111-132.

[Downloaded from flowerjournal.org on 2026-11-18]

[DOI: 10.61186/fop.10.2.313]

Frignani, F., Angiolini, C., Selvi, F., De Dominicis, V. (2004). Distribution of the genus *Sternbergia* Waldst. & Kit. (Amaryllidaceae) in Tuscany (Central Italy). *Journal of Webbia, 59*, 395-455.

Gabrielsen, B., Monath, T.P., Huggins, J.W., Kefauver, D.F., Pettit, G.R., Groszek, G., Hollingshead, M., Kirsi, J.J., Shannon, W.M., Schubert, E.M., DaRe, J. (1992). Antiviral (RNA) activity of selected Amaryllidaceae isoquinoline constituents and synthesis of related substances. *Journal of Natural Products*, *55*, 1569-1581.

Galuszka, P., Spichal, L., Kopecny, D., Tarkowski, P., Frebortova, J., Sebela, M., Frebort, I. (2008). Metabolism of plant hormones cytokinins and their function in signaling, cell differentiation and plant development. *Journal of Studies in Natural Products Chemistry*, *34*, 203-264.

Garnett, T.P., Graham, R.D. (2005). Distribution and remobilization of iron and copper in wheat. *Annals of Botany, 95*(5), 817-826.

Ikediobi, C.O., Oti, E. (1983). Some biochemical changes associated with post-harvest storage of white yam (*Dioscorea rotundata*) tubers. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *34*(10), 1123-1129.

Jones, J.B. Jr. (2001). Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis. CRC Press, USA.

Joseph, B., Parta, R.R., Lawerence, R. (2007). Characterization of plant growth promoting rhizobacteria associated with chickpea (*Cicer arietinum* L.). *International Journal of Plant Production*, *2*, 141-152.

Kamenetsky, R., Okubo, H. (2013). Ornamental geophytes: From basic science to sustainable production. CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 578 p.

Koch, K. (2004). Sucrose metabolism: regulatory mechanisms and pivotal roles in sugar sensing and plant development. *Journal of Current Opinion in Plant Biology, 7*, 235-246.

Lebedev, S.V., Korotkova, A.M., Osipova, E.A. (2014). Influence of Fe on nanoparticles, magnetite Fe_3O_4 nanoparticles and iron (II) sulfate ($FeSO_4$) solutions on the content of photosynthetic pigments in *Triticum vulgare*. *Russian Journal of Plant Physiology, 61*, 564-569.

Manafi, H., Nazari, F. (2021). The effect of storage temperature on biochemical changes in autumn daffodil bulbs (*Sternbergia lutea* (L.) Ker Gawl. ex Spreng.) and its impact on interactions with photoperiod and morphological indices. *Acta Physiologiae Plantarum, 43*(1), 11.

Masclaux-Daubresse, C., Daniel-Vedele, F., Dechorgnat, J., Chardon, F., Gaufichon, L., Suzuki, A. (2010). Nitrogen uptake, assimilation and remobilization in plants: challenges for sustainable and productive agriculture. *Annals of Botany, 105*, 1141-1157.

Mazhari, N. (2004). Flora of Iran (Ixioliriaceae and Amaryllidaceae) Nos. 46 and 47. Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, Iran.

Mengel, E., Kikbery, E. (2000). Free radical production in roots of Phaseolus vulgaris subjected to phosphate deficiency stress. *Journal of Plant Physiology and Biochemistry, 40*(2), 963-967.

Murgia, I., Morandini, P. (2017). Iron deficiency prolongs seed dormancy in Arabidopsis plants. *Frontiers in Plant Science, 8,* 2077.

Murphy, J., Riley, J.P. (1962). A modified single-solution method for the determination of phosphorus in natural waters. *Analytica Chimica Acta, 27*, 31-36.

Nazari, F. (2019). Propagation of endemic and endangered *Sternbergia lutea* with a high ornamental value by bulb chipping and plant growth regulators. *Acta Scientiarum Polonorum. Hortorum Cultus, 18*, 123-131.

Nenghui, Y., Haoxuan, L., Guohui, Z., Yinggao, L., Rui, L., Weifeng, X., Yu, J., Peng, X., Zhang, J. (2014). Copper suppresses abscisic acid catabolism and catalase activity, and inhibits seed germination of rice. *Plant and Cell Physiology, 55*(11), 2008-2016.

Ning, X., Lin, M., Huang, G., Mao, J., Gao, Z., Wang, X. (2023). Research progress on iron absorption, transport, and molecular regulation strategy in plants. *Frontiers in Plant Science, 14,* 1190768.

Okubo, H. (1992). Dormancy in bulbous plants. *International Symposium on Flower Bulbs, 325*, 35-42.

[Downloaded from flowerjournal.org on 2026-11-18]

[DOI: 10.61186/fop.10.2.313]

Paz-Ares, J., Puga, M.I., Rojas-Triana, M., Martínez-Hevia, I., Díaz, S., Poza-Carrión, C., Miñambres, M., Leyva, A. (2022). Plant adaptation to low phosphorus availability: Core signaling, crosstalk, and applied implications. *Molecular Plant, 15*, 104-124.

Peck, A.W., McDonald, G. K. (2010). Adequate zinc nutrition alleviates the adverse effects of heat stress in bread wheat. *Plant and Soil, 337*, 355-374.

Ramos Cabrera, E.V., Delgado Espinosa, Z.Y., Solis Pino, A.F. (2024). Use of phosphorus-solubilizing microorganisms as a biotechnological alternative: A review. *Microorganisms, 12*(8), 1591.

Rawat, J., Pandey, N., Saxena, J. (2022). Role of Potassium in Plant Photosynthesis, Transport, Growth and Yield. In: Iqbal, N., Umar, S. (eds.). Role of Potassium in Abiotic Stress, Springer Nature Singapore, pp. 1-14.

Rion, B., Alloway, J. (2004). Fundamental aspects of zinc in soils and plants. *Journal of International Association*, *23*, 1-128.

Said-Al Ahl, H. A. H., Meawad, A. A., Abou-Zeid, E. N., Ali, M. S. (2010). Response of different basil varieties to soil salinity. *International Agrophysics, 24*(2), 183-188.

Salo, T., Suojala, T., Kallela, M. (2002). The effect of fertigation on yield and nutrient uptake of cabbage, carrot and onion. *Acta Horticulturae, 571*, 235-241.

Shah, I. H., Jinhui, W., Li, X., Hameed, M. K., Manzoor, M. A., Li, P., Zhang, Y., Niu, Q., Chang, L. (2024). Exploring the role of nitrogen and potassium in photosynthesis: Implications for sugar accumulation and translocation in horticultural crops. *Scientia Horticulturae, 327*, 112832.

Shinde, P., Doddagoudar, S. R., Vasudevan, S. N. (2017). Influence of seed polymer coating with micronutrients and foliar spray on seed yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Legume Research - An International Journal, 40*, 704-709.

Singh, D. K., Sale, P. W. G. (2000). Growth and potential conductivity of white clover roots in dry soil with increasing phosphorus supply and defoliation frequency. *Agronomy Journal, 92*, 868-874.

Stateras, D. C., Moustakas, N. K. (2018). Seasonal changes of macro- and micro-nutrients concentration in olive leaves. *Journal of Plant Nutrition, 41*(2), 186-196.

Stoyanov, Z. Z. (2005). Effects of water stress on leaf water relations of young beans. *Central European Agriculture, 6*(1), 5-14.

Susiluoto, S., Berninger, F. (2007). Interactions between morphological and physiological drought responses in *Eucalyptus microthea*. *Silva Fennica, 41*(2), 221-233.

Taiz, L., Zeiger, E. (2006). Plant Physiology. Sinauer Associates, Inc. 764 p.

Tsukamoto, Y. (1972). Breaking dormancy in the gladiolus corm with cytokinins. *Journal of the Japan Academy, 48*(1), 34-38.

Ventura, L., Donà, M., Macovei, A., Carbonera, D., Buttafava, A., Mondoni, A., Rossi, G., Balestrazzi, A. (2012). Understanding the molecular pathways associated with seed vigor. *Plant Physiology and Biochemistry, 60*, 196-206.

Wang, Q., Li, S., Li, J., Huang, D. (2024). The utilization and roles of nitrogen in plants. *Forests, 15*(7), 1191.

Weniger, B., Italiano, L., Beck, J. P., Bastida, J., Bergonon, S., Codina, C., Lobstein, A., Anton, R. (1995). Cytotoxic activity of Amaryllidaceae alkaloids. *Planta Medica, 61*, 77-79.

Xie, R., Zhao, J., Lu, L., Brown, P., Lin, X., Webb, S.M., Ge, J., Antipova, O., Li, L., Tian, S. (2020). Seasonal zinc storage and a strategy for its use in buds of fruit trees. *Plant Physiology, 183*(3), 1200-1212.

Xu, R. Y., Niimi, Y., Han, D. S. (2006). Changes in endogenous abscisic acid and soluble sugar levels during dormancy-release in bulbs of *Lilium rubellum*. *Scientia Horticulturae, 111*, 68-72.

Yadegari, M. (2013). Foliar application of Fe, Cu, Mn and B on growth, yield, and essential oil yield of marigold (*Calendula officinalis*). *Journal of Applied Science and Agriculture, 8*(5), 559-567.

Yruela, I. (2009). Copper in plants: acquisition, transport and interactions. *Functional Plant Biology, 36*, 409-430.

[Downloaded from flowerjournal.org on 2026-11-18]

[DOI: 10.61186/fop.10.2.313]

Yu, L., Luo, X., Croft, H., Rogers, C. A. Chen, J. M. (2024). Seasonal variation in the relationship between leaf chlorophyll content and photosynthetic capacity. *Plant, Cell & Environment, 47*(10), pp.3953-3965.

Zhang, Y., Wang, Z., Zhang, L., Cao, Y., Huang, D., Tang, K. (2006). Molecular cloning and stress-dependent regulation of potassium channel gene in Chinese cabbage (*Brassica rapa* ssp. Pekinensis). *Journal of Plant Physiology, 163*, 968-978.

Zhao, Y., Liu, C., Sui, J., Liang, J., Ge, J., Li, J., Pan, W., Yi, M., Du, Y., Wu, J. (2022). A wake-up call: signaling in regulating ornamental geophytes dormancy. *Ornamental Plant Research*, *2*(1), 1-10.

[Downloaded from flowerjournal.org on 2026-11-18]

[DOI: 10.61186/fop.10.2.313]

Flower and Ornamental Plants (2025), 10(2): 313-336
Research article

Fluctuations of nutrient element concentrations in bulb, leaf, and root tissues of autumn daffodil (*Sternbergia lutea* (L.) Ker Gawl. ex Spreng.) throughout its growth cycle

Sara Alipanah, Farzad Nazari*, Mahmoud Koushesh Saba

Department of Horticultural Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj
f.nazari@uok.ac.ir
Received: 2025/08/12, Revised: 2025/11/30, Accepted: 2025/12/07

Abstract

Autumn daffodil is a bulbous plant from the Amaryllidaceae family. Its bright yellow flowers bloom in autumn, and it requires little water, making it a promising candidate for use as an ornamental plant in landscaping. This study, which ran from September 2017 to October 2018, examined fluctuations in the elements N, P, K, Fe, Zn, and Cu at three stages: entering dormancy (June), during dormancy (July), and exiting dormancy (October). These fluctuations were measured in various bulb tissues (outer scales, inner scales, basal plate, and bud), as well as the leaves and roots of the autumn daffodil. The results showed that during the entering dormancy stage, the basal plate had the highest concentrations of N, Cu, and Zn, while the outer scales had the highest P content; Fe showed no significant variation. During the dormancy phase, the inner scales contained the most nitrogen, while the buds contained the most phosphorus. In contrast, Cu, Fe, and Zn were mostly found in the basal plate. The basal plate had the highest levels of N, P, and Fe as it exited dormancy, while Zn peaked in the bud, and Cu levels were comparable in both the bud and the basal plate. Throughout the three stages, the outer scales had the highest K content. During the second part of the experiment, the highest concentrations of N, P, K, and Zn in leaf tissue were found as the plant exited dormancy. Conversely, the highest levels of Fe and Cu were discovered during the dormancy stage. In root tissue, the exit from the dormancy stage produced the highest levels of N, P, Cu, and Zn, whereas K and Fe were most abundant during the entering dormancy stage. Understanding the autumn daffodil's nutrient fluctuations across tissues and physiological stages provides a solid scientific foundation for optimizing the timing of nutrient supply. Nutritional coordination with the plant's growth and dormancy phases can improve growth performance during the current season while also improving flower quality and uniformity in the following growth cycle. This method improves nutrient use efficiency and can lead to increased productivity in the cultivation of this ornamental species.

Keywords: Bulbous plants, Dormancy, Landscape, Nutrient elements.

[Downloaded from flowerjournal.org on 2026-11-18]

[DOI: 10.61186/fop.10.2.313]