بررسی نقش نیکل در کاهش اثرات تنش خشکی گیاه *Fortuynia garcinii*

بهروز صالحی اسکندری[۱و۲] و سید مجید قادریان[۱*]

[۱]گروه زیست شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران، [۲]گروه زیست‌شناسی، دانشگاه پیام نور، ٤٦٩٧-١٩٣٩٥ تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰٦/۱۸، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۵/۰۹/۲٤)

چکیده

خاک‌های سرپنتینی، خشک و دارای مقادیر نسبتا بالایی از نیکل هستند. برای درک بهتر اثر نیکل بر مقاومت به خشکی گیاهان غیربیش-انباشت‌گر روییده در خاک‌های سرپنتینی، آزمایشی در شرایط هیدروپونیک طراحی شد تا اثر نیکل بر رشد، جذب و انتقال و برخی پارامترهای فیزیولوژیک، گیاه *Fortuynia garcinii* (Burm.f.) (روییده در مناطق سرپنتینی) تحت تنش خشکی ارزیابی شود. برای ایجاد تنش خشکی نیمی از گلدان‌های حاوی گیاهچه‌های ٤٥ روزه به‌مدت ۸ روز در محلول هوگلند کامل دارای ۱۰ میکرو مولار نیکل قرار گرفتند. سپس گلدان‌های دارا یا فاقد نیکل به‌مدت ۸ روز در سه سطح از تنش خشکی حاصل از پلی‌اتیلن گلایکول نگه‌داری شدند. نتایج نشان داد که تنش خشکی موجب کاهش وزن خشک و انتقال نیکل به اندام‌های هوایی می‌شود که نشان‌دهنده مقاومت درونی این گیاه به نیکل است. با حضور نیکل در شرایط تنش خشکی، محتوای آب بهبود نسبی یافته و مقدار ترکیبات فنلی، قندهای محلول، پرولین و گلایسین بتائین بیشتر از تیمارهای مشابه فاقد نیکل بود. اما این موضوع در مورد مقدار رنگیزه‌ها برعکس بود. به‌نظر می‌رسد تجمع بیشتر اسموتیکوم‌ها در حضور نیکل، سبب کاهش پتانسیل اسمزی سلول و حفظ تورژسانس شده، در ضمن نقش آنتی اکسیدانی‌آنها به‌همراه کاروتنوئیدها و ترکیبات فنلی موجب تقویت ساختارهای درون سلولی گردیده است. افزایش فشار تورژسانس سلول‌ها در حضور نیکل موجب افزایش محتوای آبی سلول‌ها شده در نتیجه تغلیظ رنگیزه‌های گیاهی در حضور نیکل نیز کاهش می‌یابد. حضور نیکل از طریق انباشت بیشتر اسموتیکم‌ها و بهبود سیستم دفاعی باعث افزایش مقاومت به تنش خشکی می‌شود.

کلمات کلیدی: تنش خشکی، ترکیبات فنلی، تنظیم اسمزی، خاک سرپنتین، نیکل، *Fortuynia garcinii*

مقدمه

صفات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های سرپنتین، بدلیل پایین بودن مقادیر سیلت و رس نامناسب است. اکثرا زیستگاه‌ها در مناطق، صخره‌ای و سنگی واقع شده بنابراین خاک آنها کم‌عمق و دارای بافت نامناسبی می‌باشد، این عوامل موجب افزایش تخلخل و هدایت هیدرولیکی شده، به‌همین دلیل برای رشد عادی گیاهان نامناسبند. همه این عوامل منجر به افزایش زهکشی، کاهش محتوی آبی و ظرفیت مزرعه‌ای می‌شود و در نهایت بر رطوبت قابل دسترس گیاهان ساکن در آنها تاثیر می-گذارد (Brady *et al.*, 2005). گیاهانی که در این خاک‌های رویش می‌کنند بجز کم آبی با سه چالش شیمیایی دیگر روبرو هستند که عبارتند از: نسبت پایین Ca/Mg، کمبود عناصر ضروری (N, P, K, S, Ca) و میزان بالایی از Mg و دیگر فلزاتی (Ni, Co, Mn, Cr) که ذاتا سمی می‌باشند (Kazakou *et*

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی:ghaderian@sci.ui.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.23.21.4]

al., 2008). از فاکتورهای اصلی محدود کننده رویش در خاک‌های سرپنتینی، کاهش ظرفیت نگه‌داری آب و میزان نسبتا بالای نیکل است که می‌توان آنها را بعنوان فاکتورهای کلیدی در رشد و بقاء گیاهان در نظر گرفت (Murren *et al.*, 2006). گیاهان روییده در این مناطق، با کسب برخی صفات فیزیولوژیک خاص قادرند خود را در برابر چالش‌های فیریکی و شیمیایی سازگار نمایند (Kolář *et al.*, 2014). مناطق سرپنتینی مرکز ایران، در ناحیه بیابانی و نیمه بیابانی قرار گرفته با میزان بارش کم (حدود ۱۱۰ میلی‌متر) که اغلب بارش‌ها در اواخر پاییز، زمستان و اوایل بهار رخ می‌دهد. بیشینه دمایی این مناطق، در اواخر بهار و تابستان تا بیش از ٤٥ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است (Ghaderian and Baker, 2007). در نتیجه با توجه به کاهش بارندگی، افزایش دمای سطحی خاک، عمق کم خاک و طبیعت صخره‌ای، خشکی این مناطق تشدید خواهد شد. از اثرات مخرب تنش خشکی اختلال در فرایندهای فیزیولوژیک همانند، روابط آبی، جذب عناصر غذایی، متابولیسم و فتوسنتز است (Shi *et al.*, 2015). گیاهان با تجمع ترکیبات محلولی چون قندهای محلول و الکلی، پرولین و گلایسین بتائین درون سلول‌ها، می‌توانند تورژسانس خود را حفظ کنند. فرایند تجمع ترکیبات محلول تحت تنش‌های آبی را تنظیم اسمزی می‌نامند (Anjum *et al.*, 2011). گیاهان در برابر تنش‌های محیطی که منجر به ایجاد گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر (ROS) شده از سازوکارهای محافظتی شامل سامانه‌های آنتی اکسیدانت آنزیمی و غیرآنزیمی (ترکیبات با وزن ملکولی پایین) استفاده می‌کنند (Sekmen *et al.*, 2014; Bian and Jiang, 2009).

نیکل نه فقط یک فلز سنگین است بلکه از عناصر کم مصرف ضروری محسوب شده و بر اساس وزن خشک در گیاهان به مقدار ۱۰-۰/۰۵ میکروگرم در گرم یافت می‌شود و برای فعالیت آنزیم‌هایی نظیر، اوره‌آز، هیدروژناز، سوپراکسید دیسموتاز و گلی اکسیداز مورد نیاز است (Iori *et al.*, 2013; Seregin and Kozhevnikova, 2006). آستانه سمیت نیکل در محدوده ۵۰-۱۰ میکروگرم در گرم وزن خشک است و میزان حساسیت آن وابسته به گونه است (Gerendás *et al.*, 1999; Gajewska *et al.*, 2013). گیاهان روییده در خاک‌های سرپنتین به برخی فلزات سنگین چون نیکل در بالاترین سطح زیستی مقاوم هستند (Van der Ent *et al.*, 2013). افزایش غلظت نیکل در محیط همانند سایر فلزات سنگین اثرات سمی بر گیاهان خواهد داشت که با علائمی چون، کاهش رشد، کلروزه شدن، نکروزگی و پژمردگی نمایان می‌شود که ناشی از ممانعت از تنفس، فتوسنتز، اختلال در فرایند جذب آب و تنش اکسیداتیو است که در نهایت، منجر به تولید ROS می‌شود (Gajewska *et al.*, 2006). یکی از فرضیه‌های تکاملی انباشت فلز، در گیاهان انباشت‌گر (hyperaccumulator) فلزات سنگین، افزایش مقاومت به تنش کم آبی است. زیرا این گیاهان با ذخیره فلز در بافت‌های اپیدرمی میزان تعرق کوتیکولی را کاهش می‌دهند یا توسط آن پتانسیل اسمزی سلولی خود را تنظیم می‌کنند (Baker, 1981; Bhatia *et al.*, 2005). گزارشات متناقضی در مورد اصلاح تنش خشکی توسط نیکل در گیاهان انباشت‌گر نیکل بیان شده است. برای مثال Whiting و همکاران (۲۰۰۳) نشان دادند که انباشت نیکل، اثر معنی‌دار بر تنظیم اسمزی گیاه *Alyssum murale* ندارد، اما Bhatia و همکاران (۲۰۰۵) اثبات نمودند که نیکل نقش موثر و قابل توجهی در تنظیم اسمزی گیاه *Stackhousia tryonii* تحت تنش خشکی دارد. بدین منظور، جهت درک بهتر اثر نیکل بر مقاومت به خشکی گیاهان غیرانباشت‌گر روییده در خاک‌های سرپنتینی (در شرایط هیدروپونیک) پژوهش حاضر طراحی گردید تا اثر نیکل بر جذب و انتقال، رشد و مقاومت گیاه *Fortuyni agarcinii* (Burm.f.)(از خانواده Brassicaceae) تحت تنش خشکی حاصل از پلی اتیلن گلیکول ٦۰۰۰ PEG) (6000 ارزیابی گردد.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی و اعمال تنش خشکی: میوه‌های خورجینک ناشکوفای *F. garcinii* در اواخر اردیبهشت سال ۱۳۹۳ از حداقل ۵۰ گیاه بوته‌ای روییده در مناطق سرپنتینی انارک

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.23.21.4]

(استان اصفهان) جمع آوری شد. میوه‌های بالغ با هم مخلوط شده و پس از خشک شدن کامل میوه‌ها، دانه‌های موجود در آنها را خارج و در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. بذرها با محلول هیپوکلریت سدیم ۱۰ درصد به‌مدت ۲۰ دقیقه ضدعفونی شده و سپس چندین بار با آب معمولی شستشو داده شدند. برای تسریع و همزمان کردن جوانه زنی، دانه‌ها به‌مدت ۲٤ ساعت در جیبرلین (GA_3) ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر قرار داده شده سپس به‌مدت ۱۵ روز در دمای ۵-٤ درجه سانتی‌گراد نگه‌داری شدند. پس از آن بذرها به گلدان‌های حاوی پرلیت در شرایط اتاق کشت با دوره نوری ۱٦ ساعت روشنایی، ۸ ساعت تاریکی و شدت نور ۲۰۰ میکرو مول فتون بر متر مربع بر ثانیه منتقل و تا ایجاد اولین برگ در گیاهچه‌ها با آب مقطر آبیاری شدند. دو عدد از گیاهچه‌های یکدست به گلدان‌های پلاستیکی با حجم ٤۵۰ سی‌سی (قطر ۸/۵ و ارتفاع ۱۱/۵ سانتی‌متر) منتقل و با هوگلند کامل اصلاح شده تغذیه و هوادهی شدند (Ghasemi *et al.*, 2009). پس از ٤۵ روز، نیمی از گلدان‌ها، غلظت ۱۰ میکرو مولار نیکل ($NiSO_4 \cdot 6H_2O$) دریافت کردند. گیاهان پس از ۸ روز در گلدان‌های Ni ± توسط غلظت‌های ۰، ۱۵/۷ و ۲۵/٤ درصد PEG 6000 به‌مدت ۸ روز دیگر تحت تنش خشکی قرار گرفتند که طبق معادله Money (۱۹۸۹) پتانسیل اسمزی معادل ۰، ۰/۳- و ۰/۹- مگاپاسکال ایجاد می‌کردند. در این مدت محلول‌های غذایی هر ٤ روز با محلول‌های غذایی تازه حاوی Ni ± و PEG جایگزین شدند.

اندازه‌گیری ماده خشک، محتوای نسبی آب برگ و غلظت نیکل: پس از برداشت، ریشه‌ها و اندام‌های هوایی از هم جدا و توزین شدند سپس به‌مدت ۷۲ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد نگه‌داری و مجددا برای وزن خشک توزین شدند. برای اندازه گیری میزان نیکل در بافت‌های خشک، ۱۰۰ میلی‌گرم از نمونه‌های گیاهی خشک و خرد شده به لوله‌های شیشه حاوی ۳ میلی‌لیتر اسید نیتریک ٦۵ درصد منتقل شدند. جهت هضم اسیدی ابتدا به‌مدت ۲٤ ساعت در زیر هود نگهداری شده سپس به‌مدت ٤ ساعت در حمام شنی ۹۰ درجه حرارت داده شدند. پس از خنک شدن به آنها ۱/۵ میلی‌لیتر آب اکسیژنه افزوده و مجددا ۲۰ دقیقه در حمام شن قرار داده شدند تا محلول بیرنگی ایجاد شود. در نهایت نمونه‌ها صاف و حجم نهایی آنها با آب مقطر به ۱۰ میلی‌لیتر رسید (پاکدامن و قادریان، ۱۳۹۳). مقدار نیکل توسط دستگاه طیف سنج اتمی (AAS, Shimadzu model 6200) اندازه گیری شد. نسبت انتقال نیکل (translocation factor; TF) به اندام‌های هوایی از تقسیم میزان نیکل در یک گرم بافت خشک اندام‌های هوایی بر میزان نیکل در یک گرم بافت خشک ریشه محاسبه شد (Shi *et al., 2015*). میزان محتوای نسبی آب برگ (Relative Water Content; RWC) از رابطه ۱ محاسبه شد.

$$RWC\ \% = [(FW - DW) / (TW - DW) \times] 100 \qquad (1)$$

TW, DW, FW به ترتیب نشانگر وزن تر، خشک و آماس شده (نمونه‌های برگی ۷ ساعت در آب دیونیزه قرار گرفتند) از نمونه‌های برگی کامل است.

سنجش رنگدانه‌های فتوسنتری : برای سنجش مقدار کلروفیل کل و کاروتنوئید به‌ترتیب از روش Arnon (۱۹٤۹) و Lichtenthaler (۱۹۸۳) و استفاده شد. برای استخراج این رنگیزه‌ها، ۰/۱ گرم برگ (بدون دمبرگ) را در استن ۸۰ درصد خوب سائیده شد. پس از سانتریفوژ و صاف کردن، جذب آن‌ها در طول موج‌های، ٦٤۵، ٦٦۳ و ٤۷۰ نانومتر خوانده شد و نتایج طبق فرمول‌های زیر محاسبه و مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه و ارائه گردیدند.

$$ChlT(mg/g) = (20.2A_{645} + 8.02A_{663}) \times \frac{V}{1000} \times \frac{1}{W}$$

$$Car(mg/g) = \left(\frac{(1000A_{470} - 3.27Chla - 104Chlb)}{229} \right) \times \frac{V}{1000} \times \frac{1}{W}$$

در این فرمول‌ها A، میزان جذب رنگیزه در طول موج‌های مشخص شده در معادلات، V حجم نهایی عصاره است بر حسب میلی‌لیتر و W میزان وزن بافت تر برحسب گرم می‌باشد.

اندازه‌گیری مقدار ترکیبات فنلی: محتوای ترکیبات فنلی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.23.21.4]

کل با استفاده از روش Velioglu و همکاران (۱۹۹۸) انجام شد. ۰/۱ گرم از نمونه‌ها با ۵ میلی‌لیتر متانول ۸۰ درصد حاوی اسید کلریدریک ۱ درصد سائیده و به‌مدت ٤۸ ساعت در تاریکی نگه‌داری شد. سپس مخلوط حاضر در ۳۰۰۰g سانتریفوژ و از محلول رویی و با استفاده از معرف فولین جهت تعیین ترکیبات فنلی کل استفاده شد. برای محاسبه غلظت ترکیبات فنلی کل با استفاده از اسید گالیک منحنی استاندارد رسم گردید و غلظت ترکیبات فنلی بر حسب میکرو گرم بر گرم وزن تر گزارش گردید.

سنجش کربوهیدرات‌های محلول، پرولین و بتائین گلایسین: اندازه گیری کربوهیدرات‌های محلول درآب (Water Soluble Content; WSC) به روش Dubois و همکاران (۱۹۵٦)، با استفاده از بافت تازه برگ به روش فنل-اسیدسولفوریک انجام پذیرفت. جهت اندازه‌گیری مقدار پرولین برگ از روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) استفاده شد. میزان گلایسین بتائین به روش Grieve و Grattan (۱۹۸۳) اندازه-گیری شد. بدین منظور، ۵۰ میلی‌گرم نمونه‌های خشک و پودر شده برگ را با ۲ میلی‌لیتر آب دیونیزه مخلوط کرده و به‌مدت ٤۸ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد روی شیکر قرار داده شدند. پس از صاف کردن نمونه‌ها، ۵۰۰ میکرولیتر از محلول رویی به نسبت مساوی با اسید سولفوریک ۲ نرمال بر روی یخ مخلوط و در نهایت به آن ۲۰۰ میکرولیتر یدید پتاسیم افزوده و مخلوط را به‌مدت ۱٦ ساعت در دمای ٤-۰ درجه سانتی‌گراد نگه‌داری شدند. این نمونه‌ها در دمای صفر درجه‌سانتی‌گراد ۱۰,۰۰۰ rpm سانتریفیوژ شده و رسوب حاصل در ۱-۲ میلی-لیتر کلرواتان حل کرده و مقدار جذب آن در ۳٦۵ نانومتر قرائت گردید. برای محاسبه غلظت از منحنی استاندارد گلایسین بتائین استفاده شد.

محاسبه‌های آماری: آزمایش بر طبق طرح کاملاً تصادفی (برای هر تیمار با سه تکرار) صورت گرفت و تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS انجام شد. برای آنالیز نتایج، از روش تجزیه واریانس دو طرفه استفاده شد و مقایسه میانگین‌ها با بکارگیری از آزمون چند دامنه‌ای دانکن با ضریب اطمینان ۹۵ درصد محاسبه گردید و برای رسم نمودارها از نرم افزار Excel استفاده شد.

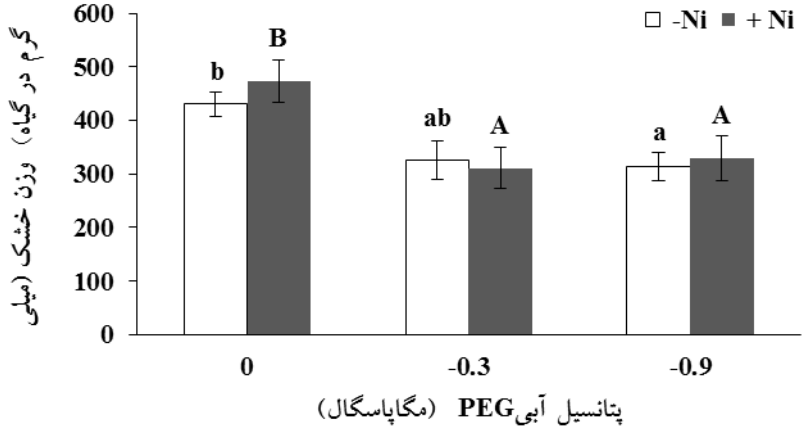
نتایج و بحث

اثر نیکل بر وزن خشک اندام‌های هوایی و محتوای نسبی آب برگ گیاه *F. garcinii* تحت تنش خشکی: نتایج حاصل از اندازه گیری وزن خشک اندام هوایی و محتوای نسبی آب نشان داد که این شاخص‌ها با افزایش تنش خشکی، کاهش یافتند و در صورت استفاده از نیکل، کاهش آنها فقط در اولین سطح تنش (۰/۳- مگاپاسکال) معنی‌دار است و اختلاف معنی-داری بین سطوح مختلف تنش خشکی مشاهده نگردید (شکل ۱ و ۲). در صورت عدم وجود نیکل در محیط غذایی، وزن خشک اندام هوایی فقط در بالاترین سطح تنش خشکی نسبت به گیاهان شاهد کاهش معنی‌دار نشان داد ($P< 0.05$). محتوای نسبی آب برگ با حضور نیکل در محیط همواره از تیمارهای مشابه فاقد نیکل بیشتر بود. همچنین اثر متقابل خشکی حاصل از PEG و نیکل بر وزن خشک اندام هوایی و RWC معنی‌دار نبود ($P> 0.05$). نتایج وزن خشک اندام‌های هوایی و RWC نشان داد تنش خشکی اثرات منفی بر رشد گیاه *F. garcinii* داشته و حضور نیکل به مقدار جزیی RWC را اصلاح کرده است. کاهش رشد پاسخ مشترک گیاهان به تنش خشکی است (Hajihashemi and Ehsanpour, 2013). کم شدن پتانسیل آب در تنش‌های اسمزی سبب کاهش آب بافت‌های گیاه شده که نتیجه آن کاهش تعداد، اندازه برگ‌ها و طول ساقه است که با کاهش اتلاف آب از گیاه همراه می‌شود (Boyer, 1988; Anjum *et al.*, 2011).

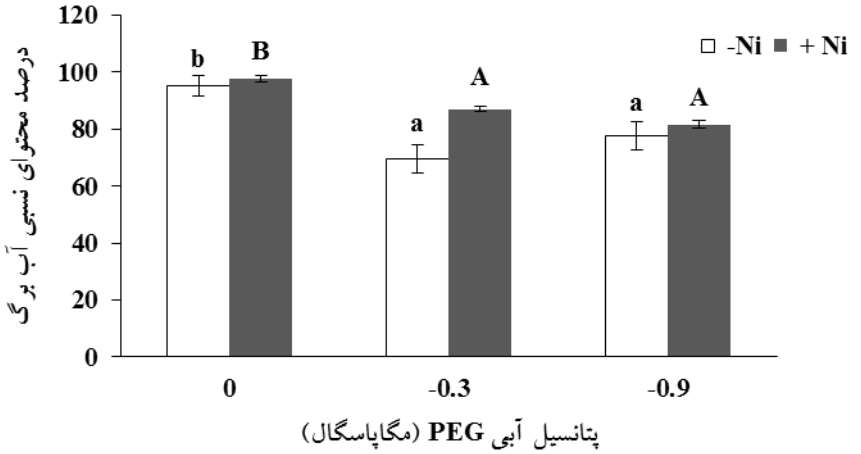
اثر تنش خشکی بر میزان تجمع و انتقال نیکل از ریشه به اندام‌های هوایی در گیاه *F. garcinii*: نتایج اثر تنش خشکی بر جذب نیکل در شکل ۳ نشان داد که جذب نیکل با تنش خشکی در ریشه‌ها افزایش یافت. این افزایش در تنش خشکی ملایم (۰/۳- مگاپاسکال) و شدید (۰/۹- مگاپاسکال) به‌ترتیب ۵۳/۵ و ٤٤/۸ درصد نسبت به گروه شاهد افزایش داشت که این افزایش فقط در اولین سطح تنش (۰/۳-

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

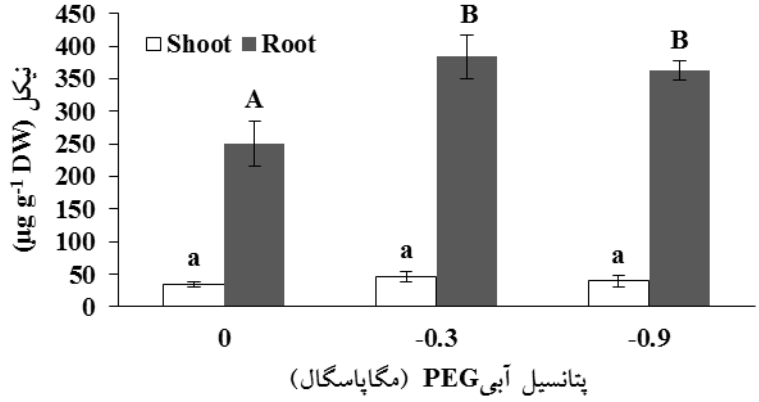
[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.23.21.4]



شکل۱- اثر نیکل بر وزن خشک اندام های هوایی گیاه *F. garcinii*، تحت تنش خشکی حاصل از PEG 6000 (میانگین سه تکرار ± خطای استاندارد). حروف غیرمشترک، به طور جداگانه در هر سری دارا یا فاقد نیکل، بیانگر اختلاف معنی‌دار بین تیمارها براساس آزمون Duncan (*P*<۰/۰۵) است.



شکل۲- اثر نیکل بر محتوای نسبی آب گیاه *F. garcinii*، تحت تنش خشکی حاصل از PEG 6000 (میانگین سه تکرار ± خطای استاندارد). حروف غیرمشترک، به طور جداگانه در هر سری دارا یا فاقد نیکل، بیانگر اختلاف معنی‌دار بین تیمارها براساس آزمون Duncan (*P*<۰/۰۵) است.



شکل ۳- اثر نیکل در محیط کشت (۱۰ میکرومولار) بر میزان تجمع نیکل در ریشه و اندام‌های هوایی گیاه *F. garcinii*، تحت تنش خشکی حاصل از PEG 6000 (میانگین سه تکرار ± خطای استاندارد). حروف غیرمشترک، به طور جداگانه در هر سری دارا یا فاقد نیکل، بیانگر اختلاف معنی‌دار بین تیمارها براساس آزمون Duncan (*P*<۰/۰۵) است.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.23.21.4]

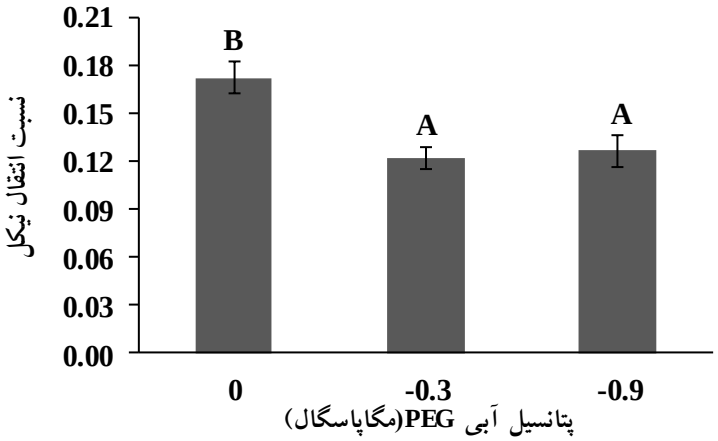
مگاپاسکال)، معنی‌دار است و اختلاف معنی‌داری بین سطوح مختلف تنش خشکی مشاهده نگردید. همچنین میزان نیکل در اندام‌های هوایی تحت تاثیر افزایش تنش خشکی قرار نگرفت ($P> 0.05$). نسبت (میزان) انتقال نیکل در شکل ٤ نشان می دهد که سطوح مختلف خشکی نسبت به گروه شاهد، انتقال نیکل از ریشه به اندام‌های هوایی کاهش می‌دهند ($P< 0.05$) ولی اختلاف معنی‌داری بین سطوح مختلف تنش خشکی مشاهده نشد. گیاهان فلزدوست (metallophyte) بر اساس غلظت فلز مشاهده شده در اندام‌های هوایی گیاه در ازای افزایش فلز در بسترشان به سه گروه انباشت‌گر (accumulator)، نشان‌گر (indicator) و محدود کننده (excluders) تقسیم می‌شوند که میزان انباشت فلز در اندام‌های هوایی این سه گروه به‌ترتیب زیاد، متناسب با غلظت فلز در خاک و محدود است. گروه محدودکننده از جذب و انتقال فلزات سنگین جلوگیری کرده مگر آنکه غلظت فلز بیشتر از حد بحرانی گیاه باشد که در این صورت میزان فلز در اندام‌های هوایی افزایش می‌یابد (Baker, 1981). نتایج مذکور نشان داد که گیاه *F. garcinii* با افزایش تجمع نیکل در ریشه و کاهش انتقال آن به اندام‌های هوایی، از سازوکار محدود کننده استفاده می‌نماید تا از ورود فلز سنگین به اندام‌های هوایی خود جلوگیری کرده و از بروز اثرات سمی آن همانند، برهم‌زدن توازن آبی گیاهان و کاهش جذب عناصر ضروری غذایی ممانعت بعمل آورد (Poschenrieder and Barceló, 2004; Furini, 2012).

اثر نیکل بر تغییرات غلظت کلروفیل کل و کاروتنوئیدها در گیاه *F. garcinii* تحت تنش خشکی: شکل ۵ نتایج آنالیز واریانس داده‌های حاصل از اثر نیکل بر غلظت کلروفیل کل و کاروتنوئیدها برگ گیاه *F. garcinii* تحت تنش خشکی حاصل PEG 6000 را نشان می‌دهد. چنانچه مشاهده می‌شود تمام سطوح خشکی بدون حضور نیکل در محیط غذایی، موجب افزایش معنی‌دار کلروفیل کل و کاروتنوئیدها گردید ($P< 0.05$). در حضور نیکل افزایش رنگیزه فتوسنتزی به‌تدریج صورت گرفت اما این افزایش فقط در تنش خشکی ملایم و شدید به‌ترتیب برای کلروفیل کل وکاروتنوئیدها معنی‌دار بود. در حالی‌که برای این رنگیزه‌ها اختلاف معنی‌داری بین سطوح مختلف تنش خشکی مشاهده نگردید. مقدار رنگیزه تیمارهای خشکی فاقد نیکل نسبت تیمار مشابه دارای فلز بیشتر بود اما این اختلاف فقط در تنش خشکی ملایم (۰/۳- مگاپاسکال) معنی‌دار گردید ($P< 0.05$). همچنین اثر متقابل خشکی حاصل از PEG و نیکل بر میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی معنی‌دار نبود ($P> 0.05$). تنش خشکی بعلت کاهش حجم و اندازه سلول‌ها، منجر به تغلیظ شیره سلولی شده که با افزایش محتوای رنگیزه-های فتوسنتزی همراه است (Jnandabhiram and Sailen Prasad, 2012). نتایج ما با این یافته‌ها مشابهت دارد. افزایش رنگیزه فتوسنتزی در حضور نیکل همواره کمتر از تیمارهای خشکی مشابه فاقد نیکل بود که احتمالا ناشی از اثر اصلاحی نیکل در محتوای آبی برگ گیاه تحت تنش خشکی است که با افزایش بیشتر اسموتیکوم‌هایی چون پرولین، گلایسین بتائین و قندها انجام می‌شود (Gajewska *et al.*, 2006). اما نتایج ما برخلاف گزارش Kiani و همکاران (۲۰۰۸) است که گزارش کردند تنش خشکی سبب کاهش معنی‌دار رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه آفتابگردان می‌گردد. کارتنوئیدها علاوه بر نقش رنگیزه کمکی، بعنوان محافظ دستگاه فتوسنتزی نیز عمل کرده و با گرفتن انرژی برانگیختگی از کلروفیل سه‌تایی و اکسیژن یکتایی، نقش آنتی اکسیدانتی خود را ایفاء می‌کنند (Buchanan *et al.*, 2015). در این پژوهش خشکی در بالاترین سطح تنش (۰/۹- مگاپاسکال) به تنهایی یا در حضور نیکل، موجب افزایش معنی‌دار کاروتنوئیدها شده که می‌تواند حاصل تغلیظ شیره سیتوپلاسمی یا سنتز آنها باشد تا بتوانند دستگاه فتوسنتری را در برابر رادیکال‌های فعال اکسیژن تولیدی، محافظت نمایند.

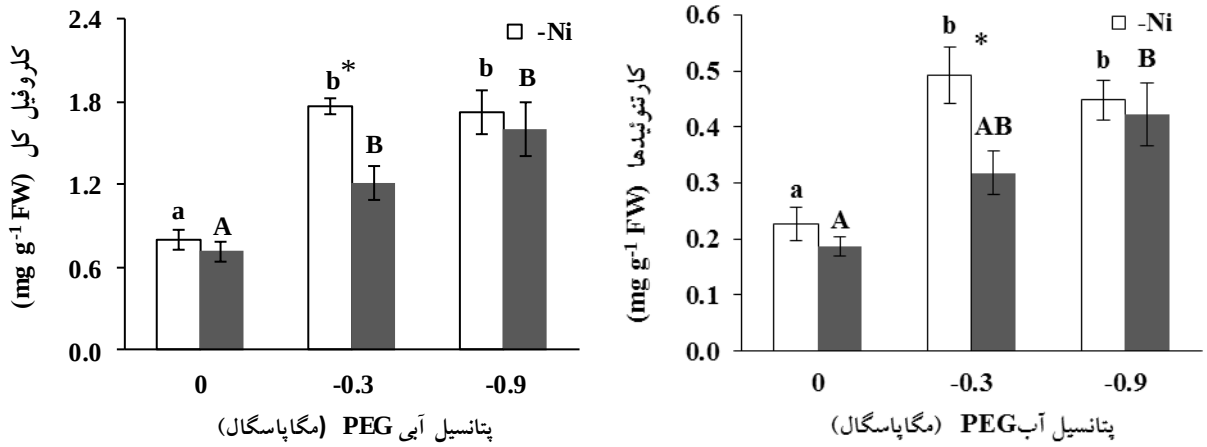
اثر نیکل بر محتوای فنل کل در گیاه *F. garcinii* تحت تنش خشکی: نتایج حاصل از تاثیر نیکل بر محتوای فنل کل گیاه *F. garcinii* تحت تنش خشکی در شکل ٦ نشان داده است. بر این اساس تنش خشکی با افزایش محتوای فنل کل رابطه خطی داشت بطوری‌که میزان افزایش در تنش خشکی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.23.21.4]



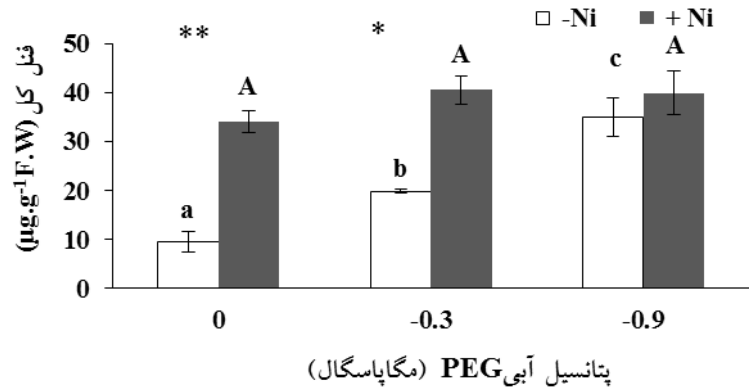
شکل ٤- اثر نیکل در محیط کشت (۱۰ میکرومولار) بر نسبت انتقال آن از ریشه به اندام‌های هوایی گیاه *F. garcinii*، تحت تنش خشکی حاصل از PEG 6000 (میانگین سه تکرار ± خطای استاندارد). حروف غیرمشترک، بیانگر اختلاف معنی‌دار بین تیمارها براساس آزمون Duncan (*P*<۰/۰۵) است.



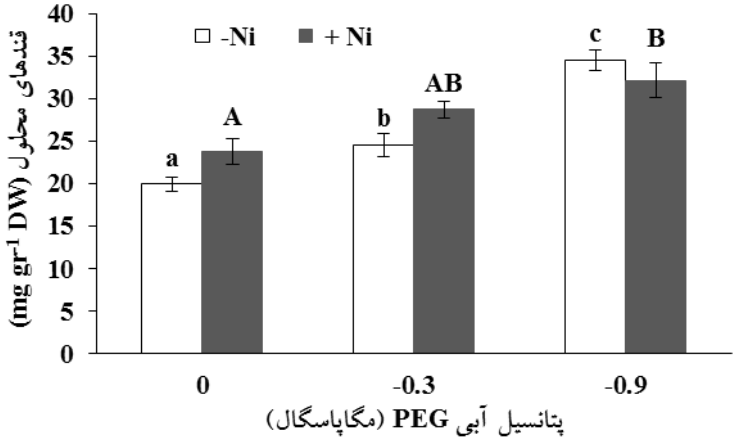
شکل ٥- اثر نیکل بر تغییرات غلظت کلروفیل کل و کاروتنوئیدهای گیاه *F. garcinii*، تحت تنش خشکی حاصل از PEG 6000 (میانگین سه تکرار ± خطای استاندارد). حروف غیر مشترک، بیانگر اختلاف معنی‌دار بین تیمارها براساس آزمون Duncan (*P*<۰/۰۵) است. علامت * نشان دهنده تفاوت معنی دار بین دو تیمار دارا و فاقد نیکل است.

ملایم و شدید به‌ترتیب ۲/۱ و ۳/۷ برابر گروه شاهد بود. همچنین اثر متقابل خشکی حاصل از PEG و نیکل بر میزان فنل کل معنی‌دار شد ($P<0.05$). ترکیب‌های فنلی اغلب دارای نقش‌های دفاعی و افزایش فعالیت آنتی اکسیدانتی هستند. سنتز این ترکیب‌ها در اثر تنش‌های زیستی و غیرزیستی القاء می‌شود. ترکیبات فنلی با دادن الکترون به آنزیم پراکسیداز (POX) و سم‌زدایی آب اکسیژنه تولید شده، می‌توانند در سلول بعنوان آنتی اکسیدانت عمل کنند (Michalak, 2006). تحقیقاتی که روی سیب زمینی انجام شده است نشان داد که در گیاه تحت تنش خشکی، بیان ژن تولید کننده فنل و همچنین میزان این ترکیب‌ها افزایش می‌یابد (André *et al.*, 2009)، این یافته‌ها با نتایج این تحقیق مشابهت دارد. بیوسنتز ترکیبات فنلی در سمیت حاصل از نیکل در گیاه گندم نیزگزارش شده است (Díaz *et al.*, 2001). محتوای فنل کل در تنش خشکی با حضور نیکل تغییر معنی‌دار نداشت و سطوح مختلف تنش در یک سطح قرار گرفتند. با توجه به نتایج و عدم تغییر ترکیبات

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.23.21.4]



شکل ٦- اثر نیکل بر محتوای فنل کل گیاه *F. garcinii*، تحت تنش خشکی حاصل از PEG 6000 (میانگین سه تکرار ± خطای استاندارد). حروف غیرمشترک، بیانگر اختلاف معنی‌دار بین تیمارها براساس آزمون Duncan (*P*<۰/۰۵) است. علامت *و ** به‌ترتیب نشان دهنده تفاوت معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد بین دو تیمار دارا و فاقد نیکل است.

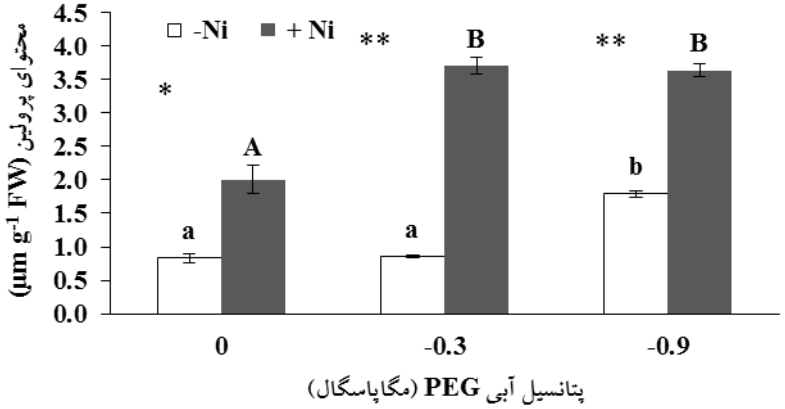


شکل ۷- اثر نیکل بر محتوای کربوهیدرات محلول در برگ گیاه *F. garcinii* تحت تنش خشکی حاصل از PEG 6000 (میانگین سه تکرار ± خطای استاندارد). حروف غیرمشترک، بیانگر اختلاف معنی‌دار بین تیمارها براساس آزمون Duncan (*P*<۰/۰۵) است.

فنلی در حضور نیکل با وجود سطوح مختلف تنش خشکی احتمالا غنی بودن خاک‌های سرپنتینی از نیکل عامل اصلی القاء کننده تولید ترکیبات فنلی است که تحت تاثیر تنش خشکی قرار نمی‌گیرد.

اثر نیکل بر کربوهیدرات‌های محلول در گیاه *F. garcinii* تحت تنش خشکی: نتایج آنالیز واریانس داده‌های حاصل از اثر نیکل بر محتوای کربوهیدرات‌های محلول گیاه *F. garcinii*تحت تنش خشکی حاصل از PEG در شکل ۷ نشان داده شده است و چنانچه مشخص شده است میزان کربوهیدرات‌های محلول با کاهش پتانسیل اسمزی، بتدریج افزایش معنی‌دار داشت به‌طوری‌که در تنش خشکی کم و شدید به‌ترتیب ۲۳/۱ و ۷۳/۵ درصد نسبت به گروه شاهد افزایش نشان دادند. استفاده از نیکل، فقط در تنش خشکی شدید (۰/۹- مگاپاسکال) موجب افزایش معنی‌دار کربوهیدرات‌های محلول شد ($P< 0.05$). برهم‌کنش خشکی حاصل از PEG و نیکل بر کربوهیدرات‌های محلول اثر معنی-دار نداشت ($P = 0.057$). بنابراین به‌نظر می‌رسد در آزمایش انجام شده افزایش قندهای محلول برخلاف ترکیبات فنلی بیشتر تحت تاثیر سطوح مختلف تنش خشکی است که موجب کاهش بیشتر پتانسیل اسمزی، افزایش مقاومت غشاها و تغییر در وضعیت انرژی سلول‌ها می‌شود. کربوهیدرات‌های محلول در تنظیم اسمزی گیاهان تحت تنش‌های آبی دخالت دارند. آنها

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.23.21.4]



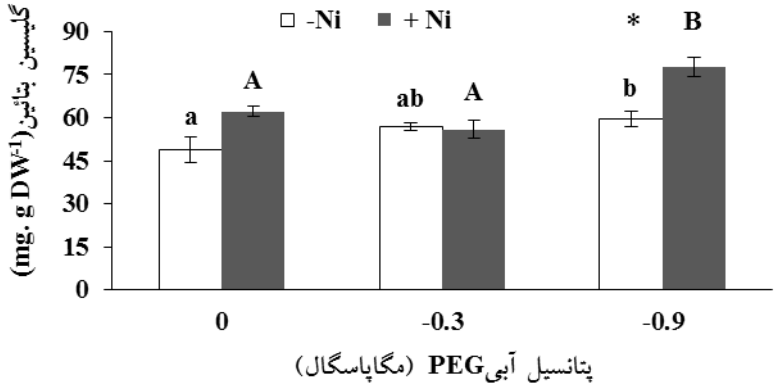
شکل ۸- اثر نیکل بر غلظت پرولین در برگ گیاه *F. garcinii* تحت تنش خشکی حاصل از PEG 6000 (میانگین سه تکرار ± خطای استاندارد). حروف غیر مشترک، بیانگر اختلاف معنی‌دار بین تیمارها براساس آزمون Duncan (P <۰/۰۵) است. علامت *و ** به‌ترتیب نشان دهنده تفاوت معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد بین دو تیمار دارا و فاقد نیکل است.

در حفظ وضعیت آبی و کمک به انتقال آب به‌درون برگ‌ها و افزایش تورگر مشارکت می‌کنند. برهم‌کنش بین گروه هیدروکسیل ترکیبات پلی‌هیدروکسی (قندها) و سرقطبی فسفولیپیدهای غشاء منجر به پایداری غشاهای سلولی می‌شود (Chaves *et al.*, 2003). علاوه بر تنظیم اسمزی، انتقال آسان قندها بین اندام‌های گیاه از نقش مهم آنها در تنظیم عملکردهای گیاهان تحت تنش است. از آنجایی که مقاومت به تنش‌ها به وضعیت انرژی در سلول‌ها وابسته است، بسیاری از بافت‌های گیاهی تحت تنش بسرعت درخواست متابولیزه کردن کربوهیدرات را افزایش می‌دهند (Hare *et al.*, 1998).

اثر نیکل بر غلظت پرولین در گیاه *F. garcinii* تحت تنش خشکی: در این آزمایش، میزان پرولین در تنش خشکی شدید (۰/۹- مگاپاسکال) نسبت به تنش خشکی ملایم (۰/۳- مگاپاسکال) و گروه شاهد افزایش معنی‌دار نشان داد (شکل ۸). کاربرد نیکل، موجب افزایش قابل توجه پرولین در تنش خشکی شد ولی میزان آن در سطوح مختلف خشکی اختلاف معنی‌داری نداشت ($P< 0.05$). همچنین میزان پرولین در تمام تیمارهای خشکی دارای نیکل بیشتر از تیمارهای مشابه فاقد نیکل بود. علاوه براین برهم‌کنش خشکی و نیکل بر غلظت پرولین معنی‌دار شد ($P< 0.01$). تجمع پرولین اولین پاسخ گیاهان به تنش کم‌آبی است (Anjum *et al.*, 2011). اما این ترکیب تحت شرایط تنشی مختلف همانند فلزات سنگین و شوری نیز تجمع می‌یابد. پرولین دارای عملکردهای متفاوتی مانند ایجاد تعادل اسمزی، حفاظت از ساختار پروتئینی و غشاء سلول، تثبیت ساختارهای درون سلولی و حذف رادیکالهای آزاد است (Gajewska and Skłodowska, 2005; Dawood, 2016). این نتایج نشان می‌دهد حضور نیکل احتمالا برهم زننده تعادل آبی است بهمین دلیل در حضور نیکل میزان افزایش پرولین بیشتر بود (Gajewska and Skłodowska, 2005). گیاه *F. garcinii* با حضور نیکل در تمام تیمارها پرولین بیشتری انباشت کرده که موجب تنظیم اسمزی، پایداری ساختار پروتئین‌ها، تمامیت غشاء و کاهش اکسیداسیون لیپیدی می‌شود.

اثر نیکل بر غلظت گلایسین بتائین در گیاه *F. garcinii* تحت تنش خشکی: نتایج آنالیز واریانس داده‌های حاصل از اثر نیکل بر تغییرات محتوای گلایسین بتائین گیاه *F. garcinii* تحت تنش خشکی حاصل از PEG6000 در شکل ۹ نشان می دهد که با کاهش پتانسیل اسمزی بدون حضور نیکل میزان گلایسین بتائین در پتانسیل اسمزی ۰/۳- و ۰/۹- مگاپاسکال به‌ترتیب ۱۶/۸ و ۲۲/۱ درصد نسبت به گروه شاهد افزایش یافت اما فقط در بالاترین سطح تنش (۰/۹- مگاپاسکال)، این افزایش نسبت به گروه شاهد معنی‌دار گردید و سطوح مختلف

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.23.21.4]



شکل ۹- اثر نیکل بر غلظت گلایسین بتائین در گیاه *F. garcinii*، تحت تنش خشکی حاصل از PEG 6000 (میانگین سه تکرار ± خطای استاندارد). حروف غیر مشترک، بیانگر اختلاف معنی‌دار بین تیمارها براساس آزمون Duncan ($P<0/05$) است. علامت * نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد بین دو تیمار دارا و فاقد نیکل است.

تنش خشکی تفاوت معنی‌داری نشان ندادند. تنش خشکی بهمراه نیکل تنها در بالاترین سطح تنش خشکی (۰/۹- مگاپاسکال) موجب افزایش قابل توجه گلایسین بتائین نسبت به مابقی تیمارها گردید ($P< 0.05$). همچنین اثر متقابل خشکی حاصل از PEG و نیکل بر غلظت گلایسین بتائین همانند پرولین اثر معنی‌دار داشت ($P< 0.01$). احتمالا تجمع بیشتر گلایسین بتائین گیاه *F. garcinii* در حضور نیکل علاوه بر حفظ پتانسیل آبی موجب افزایش توانایی‌های گیاه برای مقاومت در برابر تنش خشکی می‌شود. استفاده از گلایسین بتائین موجب افزایش مقاومت گیاه گندم در برابر تنش فلز کروم و خشکی می‌شود (Ali *et al.*, 2015). گلایسین بتائین که در بسیاری از گیاهان در پاسخ به تنش‌های غیرزیستی تجمع می‌یابد علاوه بر تنظیم کننده اسمزی در پایداری ساختار چهارم پروتئین‌ها و غشاها نیز نقش دارد (Dawood, 2016).

نتیجه‌گیری

با توجه به کلیه نتایج حاصل از این تحقیق می‌توان نتیجه‌گیری نمود که گیاه *F. garcinii*، در حضور نیکل مقاومت بهتری به تنش خشکی نشان می‌دهد. انباشت نیکل در ریشه گیاه *F. garcinii* همواره بیشتر از اندام‌های هوایی است همچنین مهمترین راهکار مقاومت این گیاه تحت شرایط تنش خشکی، کاهش انتقال نیکل به اندام‌های هوایی است. از طرف دیگر، تجمع بیشتر اسموتیکوم‌های پرولین، گلایسین بتائین و قندها در حضور نیکل ضمن کاهش پتانسیل اسمزی سلول و حفظ تورژسانس به‌همراه نقش آنتی اکسیدانتی این ترکیبات در کنار کاروتنوئیدها و ترکیبات فنلی موجب تقویت ساختارهای درون سلولی می‌شود. افزایش تورگر سلول‌ها در حضور نیکل موجب افزایش محتوای آبی سلول‌ها شده در نتیجه تغلیظ رنگیزه‌های گیاهی در حضور نیکل نیز کاهش می‌یابد.

تشکر و قدردانی

از معاونت پژوهشی دانشگاه اصفهان به‌دلیل حمایت مالی از این تحقیق صمیمانه سپاسگزاری می‌شود.

منابع

پاکدامن، ن. و قادریان، م. (۱۳۹۳) اثر غلظت‌های مختلف نیکل در محیط کشت بر رشد گیاه، انباشتگی نیکل و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در برخی گونه‌های *Pistacia*. مجله فرایند و کارکرد گیاهی ۳: ۱۲-۱.

Ali, S., Chaudhary, A., Rizwan, M., Anwar, H. T., Adrees, M., Farid, M., Irshad, M. K., Hayat, T. and Anjum, S. A.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.23.21.4]

(2015) Alleviation of chromium toxicity by glycinebetaine is related to elevated antioxidant enzymes and suppressed chromium uptake and oxidative stress in wheat (Triticum aestivum L.). Environmental Science and Pollution Research 22: 10669-10678.

André, C. M., Schafleitner, R., Legay, S., Lefèvre, I., Aliaga, C. A. A., Nomberto, G., Hoffmann, L., Hausman, J.-F., Larondelle, Y. and Evers, D. (2009) Gene expression changes related to the production of phenolic compounds in potato tubers grown underdrought stress. Phytochemistry 70: 1107-1116.

Anjum, S. A., Xie, X.-y., Wang, L.-c., Saleem, M. F., Man, C. and Lei, W. (2011) Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. African Journal of Agricultural Research 6: 2026-2032.

Arnon, D. I. (1949) Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in Beta vulgaris. Plant physiology 24: 1-15.

Baker, A. J. M. (1981) Accumulators and excluders-strategies in the response of plants to heavy metals. Journal of Plant Nutrition 3: 643-654.

Bates, L., Waldren, R. and Teare, I. (1973) Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil 39: 205-207.

Bhatia, N. P., Baker, A. J. M., Walsh, K. B. and Midmore, D. J. (2005) A role for nickel in osmotic adjustment in drought-stressed plants of the nickel hyperaccumulator *Stackhousia tryonii* Bailey. Planta 223: 134-139.

Bian ,S. and Jiang, Y. (2009) Reactive oxygen species, antioxidant enzyme activities and gene expression patterns in leaves and roots of *Kentucky bluegrass* in response to drought stress and recovery. Scientia Horticulturae 120: 264-270.

Boyer, J. S. (1988) Cell enlargement and growth-induced water potentials. Physiologia Plantarum 73: 311-316.

Brady, K. U., Kruckeberg, A. R. and Bradshaw Jr, H. (2005) Evolutionary ecology of plant adaptation to serpentine soils. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics: 243-266.

Buchanan, B. B., Gruissem, W. and Jones, R. L. (2015). Biochemistry and molecular biology of plants. John Wiley & Sons.

Chaves, M. M., Maroco, J. P. and Pereira, J. S. (2003) Understanding plant responses to drought-from genes to the wholeplant. Functional Plant Biology 30: 239-264.

Dawood, M. G. (2016) Influence of osmoregulators on plant tolerance to water stress. Scientia 13: 42-58.

Díaz, J., Bernal, A., Pomar, F. and Merino, F. (2001) Induction of shikimate dehydrogenase and peroxidase in pepper (*Capsicum annuum* L.) seedlings in response to copper stress and its relation to lignification. Plant Science 161: 179-188.

Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. and Smith, F. (1956) Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Analytical chemistry 28: 350-356.

Furini, A. (2012). Plants and heavy metals. Springer Science & Business Media.

Gajewska, E. and Skłodowska, M. (2005) Antioxidative responses and proline level in leaves and roots of pea plants subjected to nickel stress. Acta Physiologiae Plantarum 27: 329-340.

Gajewska, E., Skłodowska, M., Słaba, M. and Mazur, J. (2006) Effect of nickel on antioxidative enzyme activities, proline and chlorophyll contents in wheat shoots. Biologia Plantarum 50: 653-659.

Gajewska, E., Niewiadomska, E., Tokarz, K., Słaba, M. and Skłodowska, M. (2013) Nickel-induced changes in carbon metabolism in wheat shoots. Journal of plant physiology 170: 369-377.

Gerendás, J., Polacco, J. C., Freyermuth, S. K. and Sattelmacher, B. (1999) Significance of nickel for plant growth and metabolism. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 162: 241-256.

Ghaderian, S. and Baker, A. (2007) Geobotanical and biogeochemical reconnaissance of the ultramafics of Central Iran. Journal of Geochemical Exploration 92: 34-42.

Ghasemi, R., Ghaderian, S. M. and Krämer, U. (2009) Interference of nickel withcopper and iron homeostasis contributes to metal toxicity symptoms in the nickel hyperaccumulator plant *Alyssuminflatum*. New Phytologist 184: 566-580.

Grieve, C. and Grattan, S. (1983) Rapid assay for determination of water soluble quaternary ammonium compounds. Plant and Soil 70: 303-307.

Hajihashemi, S. and Ehsanpour, A. (2013) Influence of exogenously applied paclobutrazol on some physiological traits and growth of *Stevia rebaudiana* under in vitro drought stress. Biologia 68: 414-420.

Hare, P., Cress ,W. and Van Staden, J. (1998) Dissecting the roles of osmolyte accumulation during stress. Plant, Cell & Environment 21: 535-553.

Iori, V., Pietrini, F., Cheremisina, A., Shevyakova, N. I., Radyukina, N., Kuznetsov, V. V. and Zacchini, M. (2013) Growth responses, metal accumulation and phytoremoval capability in *Amaranthus* plants exposed to nickel under hydroponics. Water, Air, & Soil Pollution 224: 1-10.

Jnandabhiram, C. and Sailen Prasad, B. (2012) Water stress effects on leaf growth and chlorophyll content but not the grain yield in traditional rice (*Oryza sativa* Linn.) genotypes of Assam, India II. Protein and proline status in

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.23.21.4]

seedlings under PEG induced water stress. American Journal of Plant Sciences 2012.

Kazakou, E., Dimitrakopoulos, P., Baker ,A., Reeves, R. and Troumbis, A. (2008) Hypotheses, mechanisms and trade_offs of tolerance and adaptation to serpentine soils: from species to ecosystem level. Biological Reviews 83: 495-508.

Kiani, S. P., Maury, P., Sarrafi, A. and Grieu, P. (2008) QTL analysis of chlorophyll fluorescence parameters in sunflower (*Helianthusannuus* L.) under well-watered and water-stressed conditions. Plant Science 175: 565-573.

Kolář, F., Dortová, M., Lepš, J., Pouzar, M., Krejčová, A. and Štech, M. (2014) Serpentine ecotypic differentiation in a polyploid plant complex: shared tolerance to Mg and Ni stress among di-and tetraploid serpentine populations of *Knautia arvensis* (Dipsacaceae). Plant and Soil 374: 435-447.

Lichtenthaler , H. K. and Wellburn, A. R. (1983) Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. Biochemical Society Transactions 11: 591-592.

Michalak, A. (2006) Phenolic compounds and their antioxidant activity in plants growing under heavy metal stress. Polish Journal of Environmental Studies 15: 523.

Money, N. P. (1989) Osmotic pressure of aqueous polyethylene glycols relationship between molecular weight and vapor pressure deficit. Plant Physiology 91: 766-769.

Murren, C. J., Douglass, L., Gibson, A. and Dudash, M. R. (2006) Individual and combined effects of Ca/Mg ratio and water on trait expression in *Mimulus guttatus*. Ecology 87: 2591-2601.

Poschenrieder, C. and Barceló, J. (2004).Water Relations in Heavy Metal Stressed Plants. In Heavy Metal Stress in Plants, 249-270 (Ed M. N. V. Prasad). Springer BerlinHeidelberg.

Sekmen, A. H., Ozgur, R., Uzilday, B. and Turkan, I. (2014) Reactive oxygen species scavenging capacities of cotton (*Gossypium hirsutum*) cultivars under combined drought and heat induced oxidative stress. Environmental and Experimental Botany 99: 141-149.

Seregin, I. and Kozhevnikova, A. (2006) Physiological role of nickel and its toxic effects on higher plants. Russian Journal of Plant Physiology 53: 257-277.

Shi, G., Xia, S., Ye, J., Huang, Y., Liu, C. and Zhang, Z. (2015) PEG-simulated drought stress decreases cadmium accumulation in castor bean by altering root morphology. Environmental and Experimental Botany 111: 127-134.

van der Ent, A., Baker, A. J. M., Reeves, R. D., Pollard, A. J. and Schat, H. (2013) Hyperaccumulators of metal and metalloid trace elements: facts and fiction. Plant and Soil 362: 319-334.

Velioglu, Y., Mazza, G., Gao, L. and Oomah, B. (1998) Antioxidantactivity and total phenolics in selected fruits, vegetables, and grain products. Journal of Agricultural and Food Chemistry 46: 4113-4117.

Whiting, S. N., Neumann, P. M. and Baker, A. J. M. (2003) Nickel and zinc hyperaccumulation by *Alyssummurale* and *Thlaspicaerulescens* (Brassicaceae) do not enhance survival and whole-plant growth under drought stress. Plant, Cell & Environment 26: 351-360.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.23.21.4]

The role of nickel to alleviate the effect of drought stress in the plant, *Fortuynia garcinii*

B. Salehi Eskandari[1,2], S. M. Ghaderian[1*]
[1]Department of Biology, University of Isfahan, Isfahan 81746-73441, Iran
[2]Department of Biology, Payame Noor University, 19395-4697 Tehran, Iran

Abstract
Serpentine soils are dry and contain rather high levels of nickel (Ni).To obtain a better understanding of drought tolerance by Ni in serpentine plants, a hydroponic expriment was designed to compare the effects of Ni on growth factors, Ni uptake or translocation and some physiological parameters in the serpentine plant, *Fortuynia garcinii* (Burm.f.), under PEG simulated drought stress (3 levels). After 45 days, half number of vessels received 10 µM Ni for 8 days, and then plants ± Ni were exposed to drought stress for 8 days. The result indicated that Ni treatment improved RWC only slightly, and Ni accumulation of root was consistently higher than shoot. The main reason for this action was related to low translocation factors for this metal proving this plant was more tolerant to plant-internal Ni. Photosynthetic pigments increased under drought stress treatments, but the treatments with Ni were consistently lower in comparision to same treatments without Ni in this serpentine plant. Phenolic compounds, water soluble carbohydrate, Glycine betaine and proline were also increased by Ni application under PEG simulated drought stress indicating that Ni improved the osmotic adjustment ability and enhanced the antioxidant capacity. It is hypothesized that Ni could improve the drought tolerance of the serpentine plant by enhancing water utilization capability, osmotic adjustment and the abilities of antioxidative defense.

Keywords: drought stress, *Fortuynia garcinii*, Nickel, Osmotic-adjustment, Serpentine soil.

*Corresponding author: ghaderian@sci.ui.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.23.21.4]