



Investigation of the effect of salicylic acid foliar application on morphological and physiological traits of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under nickel stress

Farshad Ghoshchi¹, Abolqasem Golbaf², Hamidreza Toheidi Moghadam³,
Alireza Safahani^{4*} 

¹Department of Agrotechnology, Varamin-Pishva branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, Email: ghoshchi@yahoo.com

² Department of Agrotechnology, Varamin-Pishva branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, Email: a.golbaf@gmail.com

³Department of Agrotechnology, Varamin-Pishva branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, Email: tohidi@iauvaramin.ac.ir

⁴ Plant Protection Research Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Gorgan, Iran, Email: a.safahani@areeo.ac.ir

Article type:

Research article

Abstract

To investigate the effect of salicylic acid foliar application on the morphological and physiological characteristics of beans under nickel stress conditions, this study was carried out in the Faculty of Agriculture of Islamic Azad University, Varamin-Pishwa Branch during 2018-2019. This research was done as a factorial in the form of a completely randomized design with three replications. The factors applied in this research include nickel from the source of nickel chloride at four levels of zero (control), 50, 100 and 150 mg/kg of soil and spraying salicylic acid at three levels of zero (control), 0.5 and 1. It was millimolar per liter. The obtained results showed that nickel decreased plant height, root length, root dry weight, plant dry weight, number of pods per plant, number of seeds per pod, hundred seed weight, chlorophyll, relative leaf water content and increased proline and nickel absorption. In root, shoot and seed. The greatest effect of nickel was obtained in the treatment of 150 mg/kg of nickel soil. It was observed that the application of salicylic acid could increase plant height, root length, dry weight of roots, dry weight of plants, number of pods per plant, number of seeds per pod, weight of one hundred seeds, chlorophyll, relative content of leaf water, proline, absorption of nickel in roots. And the absorption of nickel in aerial parts and seeds was reduced, in general, the most positive effect was obtained in the application of 1 mmol/l salicylic acid. The obtained results showed the positive effects of salicylic acid, especially in the presence of nickel, and the reduction of the negative effects caused by that stress in beans. Therefore, the use of salicylic acid is suggested to moderate the negative effects caused by heavy nickel metal stress.

Article history

Received: 18.05.2024

Revised: 15.10.2024

Accepted: 25.10.2024

Published: 21.03.2025

Keywords

Beans

Chlorophyll

Phytoremediation

Nickel

Salicylic Acid

Introduction: Legumes are a crucial component of the human diet, providing a significant source of protein. Among legumes, the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) stands out as one of the most widely cultivated and produced globally. However, with the increasing levels of environmental pollution, particularly from heavy metals, the growth and yield of these plants are being negatively impacted. Nickel, a heavy metal that is essential for the activity of the urease enzyme, can become toxic to plants at high concentrations, disrupting vital processes such as

photosynthesis, nutrient uptake, root growth, and physiological activities. To address this issue, phytoremediation, a novel biological method, has been developed to clean soils contaminated with heavy metals. Additionally, the use of growth regulators, such as salicylic acid, has shown promise in mitigating the adverse effects of abiotic stresses and enhancing phytoremediation efficiency. Salicylic acid, a natural phenolic compound, plays a crucial role in various physiological processes, including photosynthesis, ion absorption, and environmental stress responses. It is also known as a molecular signal in plant resistance to both biotic and abiotic stresses.

Materials and Methods: This experiment was conducted during the 2018–2019 growing season at the Islamic Azad University, Varamin–Pishva Branch, to evaluate the effects of foliar application of salicylic acid on morphological and physiological traits of red bean (cv. Ofogh) under nickel stress. The study was arranged as a factorial experiment in a completely randomized design with three replications. Treatments included four levels of nickel (0, 50, 100, and 150 mg kg⁻¹ soil) and three concentrations of salicylic acid (0, 0.5, and 1 mM). Measured traits included shoot and root dry weight, leaf relative water content (RWC), total chlorophyll, and nickel concentration in plant tissues.

Results and Discussion: Nickel stress significantly reduced plant growth, yield components, photosynthetic pigments, and leaf relative water content. The most severe reductions were observed at 150 mg kg⁻¹ nickel. In contrast, salicylic acid application alleviated the adverse effects of nickel, with the 1 mM concentration being more effective under moderate and severe stress conditions. Salicylic acid improved shoot and root dry weight, pod and seed number, 100-seed weight, chlorophyll content, and RWC. Nickel accumulation increased in all plant organs under stress; however, salicylic acid promoted greater nickel retention in roots while reducing its concentration in shoots and seeds, indicating a regulatory role in metal translocation.

Conclusion: Nickel toxicity adversely affects common bean growth by impairing physiological and biochemical processes such as photosynthesis, water balance, and nutrient uptake. Foliar application of salicylic acid effectively mitigated nickel-induced damage by enhancing growth, preserving photosynthetic pigments, improving plant water status, and regulating nickel uptake and distribution. These findings suggest that salicylic acid can be used as an effective strategy to reduce nickel toxicity and improve phytoremediation efficiency in common bean.

Cite this article as: Ghoshchi, F., Golbaf, A., Toheidi Moghadam, H.R., Safahani, A.R. (2025). Investigation of the Effect of Salicylic Acid Foliar Application on Morphological and Physiological Traits of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Under Nickel Stress. *Journal of Plant Environmental Physiology*, 77(1): 53-70.



©The author(s)

Publisher: Islamic Azad University, Gorgan branch

Doi: <https://doi.org/10.71890/iper.2025.1120112>

بررسی اثر محلول پاشی سالیسیلیک اسید بر خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک

لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) در شرایط تنش نیکل

فرشاد قوشچی^۱، ابوالقاسم گلباف^۲، حمیدرضا توحیدی مقدم^۳، علیرضا صفاهانی^{۴*} 

^۱ گروه آگروتکنولوژی، واحد ورامین-پیشوا، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، رایانامه: ghooshchi@yahoo.com

^۲ گروه آگروتکنولوژی، واحد ورامین-پیشوا، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، رایانامه: a.golbaf@gmail.com

^۳ گروه آگروتکنولوژی، واحد ورامین-پیشوا، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، رایانامه: tohidi@iauvaramin.ac.ir

^۴ بخش تحقیقات گیاهپزشکی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران، رایانامه: a.safahani@areeo.ac.ir

چکیده

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

این تحقیق به منظور بررسی اثر محلول پاشی سالیسیلیک اسید بر خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک لوبیا در شرایط تنش نیکل در دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد ورامین-پیشوا در سال ۹۸-۱۳۹۷ بصورت گلدانی اجرا گردید. این بررسی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. فاکتورهای اعمال شده در این پژوهش شامل نیکل از منبع کلرید نیکل در چهار سطح صفر (شاهد)، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک و محلول پاشی سالیسیلیک اسید در سه سطح صفر (شاهد)، ۵/۰ و ۱ میلی مولار در لیتر بود. نتایج به دست آمده نشان داد که نیکل باعث کاهش معنی دار ارتفاع بوته، طول ریشه، وزن خشک ریشه، وزن خشک بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن صد دانه، کلروفیل، محتوای نسبی آب برگ و افزایش پرولین و جذب نیکل در ریشه، اندام هوایی و دانه شد. بیشترین تأثیر منفی نیکل در تیمار ۱۵۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک نیکل به دست آمد. مشاهده شد که کاربرد سالیسیلیک اسید توانست موجب افزایش ارتفاع بوته، طول ریشه، وزن خشک ریشه، وزن خشک بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن صد دانه، کلروفیل، محتوای نسبی آب برگ، پرولین، جذب نیکل در ریشه و کاهش جذب نیکل در اندام هوایی و دانه گردد. بطور کلی بدون در نظر گرفتن میزان نیکل، بیشترین تأثیر مثبت در کاربرد ۱ میلی مولار در لیتر سالیسیلیک اسید حاصل شد. نتایج به دست آمده اثرات مثبت سالیسیلیک اسید به خصوص در شرایط حضور نیکل و کاهش اثرات منفی ناشی از آن تنش در لوبیا را نشان داد. بنابراین کاربرد سالیسیلیک اسید برای تعدیل بخشیدن اثرات منفی ناشی از تنش فلز سنگین نیکل پیشنهاد می گردد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۲۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۷/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۰۴

تاریخ چاپ: ۱۴۰۴/۰۱/۰۱

واژه‌های کلیدی:

لوبیا
سالیسیلیک اسید
کلروفیل
گیاه پالایی
نیکل

استناد: قوشچی، فرشاد؛ گلباف، ابوالقاسم؛ توحیدی مقدم، حمیدرضا؛ صفاهانی، علیرضا (۱۴۰۴). بررسی اثر محلول پاشی

سالیسیلیک اسید بر خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) در شرایط تنش

نیکل. فیزیولوژی محیطی گیاهی، ۷۷ (۱)، ۷۰-۵۳.

مقدمه

حبوبات دارای ارزش غذایی زیاد، قابلیت نگهداری به مدت طولانی و سرشار از پروتئین می‌باشند (Messina, 2014). حبوبات از مهم‌ترین منابع پروتئینی در رژیم غذایی انسان‌ها به شمار می‌آید. میزان پروتئین حبوبات در حدود دو برابر غلات بوده که می‌تواند به عنوان مکمل پروتئین غلات در رژیم غذایی جای گیرد. در بین حبوبات، لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) از نظر سطح زیر کشت و تولید مقام اول را در جهان دارا است (Ahmadi et al., 2016).

عناصر سنگین از عمده‌ترین آلاینده‌های زیست محیطی محسوب می‌شوند که سمیت آن‌ها به دلایل بوم‌شناختی، تکاملی، تغذیه‌ای و محیطی مشکل بزرگی به شمار می‌رود (Ghasemi and Shahabi, 2010). نیکل از نظر فراوانی، بیست و چهارمین عنصر در پوسته زمین محسوب و یکی از عناصر طبیعی است که به شکل‌های مختلف در محیط زیست، خاک، هوا و آب آشامیدنی و همچنین در گیاهان و حیوانات وجود دارد. امروزه با وجود آن که نیکل به مجموعه عناصر کم مصرف مورد نیاز گیاهان افزوده شده است (Benaroya et al., 2004) و نقش آن در رشد و به ویژه فعالیت آنزیم اوره‌آز به اثبات رسیده است ولی نیکل به عنوان یک فلز سنگین، مخصوصاً در غلظت‌های بالا، موجب بروز تنش اکسیداتیو می‌شود (Wo-Niak and Basiak 2002).

گیاه پالایی از روش‌های نوین در پاکسازی خاک از فلزات سنگین می‌باشد. گیاه پالایی از جمله روش‌های پیشنهادی است که با انباشت عناصر سنگین در اندام هوایی گیاهان، خروج این عناصر از خاک‌های آلوده را امکان پذیر می‌کند (Neisi et al., 2014). نیکل اضافی ممکن است باعث اختلال در زنجیر انتقال الکترون فتوسنتزی شود و از تثبیت الکترون و تبادل روزنه‌ای

جلوگیری کند (Chen et al., 2009). در گیاهانی که تحت تنش نیکل هستند، جذب عناصر معدنی، نمو ریشه، متابولیسم سلولی، فتوسنتز و تنفس به شدت مختل می‌شود (Liamas et al., 2008). تحقیقات نشان داده است افزایش غلظت نیکل سبب کاهش ارتفاع گیاه، وزن خشک بوته، وزن خشک ریشه و کلروفیل کل گندم شد. درحالی که نیکل سبب افزایش میزان فعالیت آنزیم کاتالاز و محتوای نیکل در اندام‌های هوایی و ریشه‌های گندم گردید (Heydarian et al., 2017). در مطالعه‌ای نیکل در سورگوم (*Sorghum bicolor*) و آفتابگردان (*Helianthus annuus*) موجب کاهش وزن خشک اندام هوایی و ریشه و افزایش غلظت نیکل در اندام هوایی و ریشه شد (Rahimi Moghaddam, 2018). مشاهده شده است که نیکل در ذرت موجب کاهش طول و وزن خشک ریشه و اندام هوایی، کلروفیل، کارتنوئیدها و افزایش مالون دی آلدئید، پرولین و نشت قندهای محلول و نشت یون پتاسیم گردید (Pourakbar and Ebrahimzade, 2014).

نظر به اینکه تنظیم کننده‌های رشد ممکن است رشد گیاه را تحریک کرده یا تنش‌های غیر زیستی را کاهش دهند، شاید بتوان از کاربرد خارجی این مواد جهت بهبود فرایند گیاه پالایی استفاده کرد (Cabello Conejo et al., 2013). سالیسیلیک اسید یک ترکیب فنلی است که در طبیعت وجود دارد و در برخی از بافت‌های گیاهی به فراوانی یافت (Dong et al., 2011). سالیسیلیک اسید نقش محوری در تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیکی مختلف در خلال رشد و نمو گیاه مثل جذب یون، فتوسنتز و جوانه‌زنی بسته به غلظت بکار رفته، گونه گیاهی، دوره رشدی و شرایط محیطی ایفا می‌کند. این ماده همچنین به عنوان یک سیگنال مولکولی مهم در نوسانات گیاهی در پاسخ به تنش‌های محیطی شناخته شده است

(Ramezannezhad et al., 2013). سالیسیلیک اسید نقشی کلیدی در ایجاد مقاومت گیاهان به تنش دارد و از ترکیبات تنظیم کننده رشد و ترکیبات فنلی در گیاهان محسوب می شود، که نقش بسیار مهمی در تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه و در تنش های محیطی اثر محافظتی داشته و موجب بهبود روند رشد در گیاه می گردد (Fathi et al., 2015). گزارش شده است محلول پاشی سالیسیلیک اسید در سویا با افزایش ارتفاع بوته، وزن خشک بوته، پرولین، فعالیت آنزیم کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، کاهش مالون دی آلدئید و پراکسید هیدروژن همراه بود (Ghafari, et al., 2018). تحقیقات نشان داده است کاربرد سالیسیلیک اسید باعث افزایش تعداد برگ، طول بوته، سطح برگ و محتوای نسبی آب برگ و کاهش پرولین ماش گردید (Amirinejad et al., 2018). همچنین عنوان گشته است با محلول پاشی سالیسیلیک اسید در مراحل رشد رویشی توأم با زایشی نخود عملکرد دانه افزایش می یابد. علت افزایش عملکرد دانه در مراحل مختلف رشد مربوط به افزایش صفات تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، تعداد دانه در بوته، وزن دانه در غلاف و وزن صد دانه در اثر محلول پاشی با مقادیر مختلف سالیسیلیک اسید بود (Norouzi et al., 2018). کاربرد سالیسیلیک اسید در گیاه مامیران کبیر (*Chelidonium Majus*) و گیاه بنفشه (*Viola odorata* L.) موجب افزایش کلروفیل، کارتنوئید، فلاونوئید، آنتوسیانین و افزایش پروتئین و کاهش فعالیت آنزیم آنتی اکسیدان کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز گردید (Fabriki-Ourang and Shahabzadeh, 2019; Hasanvand et al., 2021).

آلودگی محیط زیست یکی از مشکلاتی است که جوامع بشری با آن روبرو هستند. در دهه های اخیر، افزایش بی رویه فعالیت های بشر در زمینه صنعت و استفاده بیش از حد کودهای شیمیایی در بخش کشاورزی، افزایش مقدار فلزات سنگین در محیط زیست را در پی داشته است. با توجه به مطالب ذکر شده هدف از انجام این پژوهش بررسی اثر محلول پاشی سالیسیلیک اسید بر خصوصیات مرفولوژیک و فیزیولوژیک لوبیا در شرایط تنش نیکل بود.

مواد و روش ها

مکان و تیمارهای آزمایش: این تحقیق به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد ورامین - پیشوا در سال ۹۸-۱۳۹۷ اجرا گردید. فاکتورهای اعمال شده در این پژوهش شامل نیکل از منبع کلرید نیکل در چهار سطح صفر (شاهد)، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک و محلول پاشی سالیسیلیک اسید در سه سطح صفر (شاهد)، ۵/۰ و ۱ میلی مولار در لیتر بود. برای انجام این آزمایش از گلدان هایی با حجم هشت کیلوگرم به تعداد ۳۶ گلدان استفاده گردید. خاک استفاده شده آمیخته ای از خاک مزرعه و ماسه به نسبت دو به یک بود که پس از الک کردن به خوبی آمیخته شده و با فرمالدهید ۵ درصد ضد عفونی گردید. برای بیرون کردن فرمالدهید، خاک مورد نظر به مدت ۱۰ روز هوادهی شد.

جدول ۱: برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

هدایت الکتریکی (دسی زیمنس برمتر)	پهله	درصد رطوبت	درصد ذرات	بافت خاک	کرن آل درصد	درصد	ازت کل	(پهله گرم بر پوند) فسفر قابل ذره	(پهله گرم بر پوند) پتاسیم قابل ذره
۱/۷	۷/۱	۱۳	۴۲/۹	۴۳/۱	۱/۱	۰/۲۹	۰/۱۶	۲۲۴/۲	

عملیات زراعی و مدیریت گیاه زراعی: جهت اعمال سطوح مختلف نیکل در خاک، برای هر گلدان هشت کیلوگرم خاک وزن شده و داخل کیسه‌های پلاستیکی ریخته شد. سپس از کلرید نیکل به مقدار لازم برای هر گلدان در آب حل کرده و به خاک هر گلدان در داخل کیسه‌های پلاستیکی ریخته شده اضافه گردید. به طوری که خاک به وضعیت مزرعه از نظر رطوبتی رسید. کیسه‌های حاوی خاک و کلرید نیکل به مدت سه هفته جهت تثبیت نیکل در خاک، دست نخورده باقی ماند. پس از سه هفته، خاک داخل هر پلاستیک به گلدان‌ها منتقل شد. در این آزمایش مقادیر مختلف نیکل بر اساس تیمارهای مورد آزمایش محاسبه و قبل از کاشت با خاک گلدان‌ها مخلوط شد. سالیسیلیک اسید و کلرید نیکل هر یک به صورت جداگانه نرم و به پودر تبدیل شد. براساس میزان معین شده در طرح و تکرارهای مورد نظر به شرح زیر کلرید نیکل با ترازوی دقیق آزمایشگاه توزین شد. به ترتیب ۴۰۰، ۸۰۰ و ۱۲۰۰ میلی گرم کلرید نیکل برای تیمارهای ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک نیکل استفاده شد. طبق آزمون خاک میزان ۱۰۰ کیلوگرم اوره و سوپرفسفات تریپل و ۵۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار (برای اوره و سوپرفسفات تریپل هر کدام برابر با ۰/۷ و ۰/۳۵ گرم سولفات پتاسیم برای هر گلدان) به خاک گلدان‌ها اضافه گردید.

بذور استفاده شده در این تحقیق رقم جدید لوبیا قرمز با عنوان تجاری افق بود، از ویژگی‌های این لوبیا اینکه طول دوره رشد (۸۷ روزه) کوتاه و بازارپسندی مطلوب است. این لوبیا با میانگین ارتفاع بوته ۴۵ سانتی متر، میانگین دوره رشد ۸۵ روز، وزن صددانه ۴۵ گرم و متوسط عملکرد ۲۶۵۰ کیلوگرم در هکتار یکی از لاین‌های زودرس و با تیپ بوته ایستاده با قابلیت برداشت مکانیزه محسوب می‌شود. به منظور ضدعفونی بذور و جلوگیری از آلودگی‌های احتمالی فارچی بذور به مدت دو دقیقه در محلول هیپوکلریت سدیم یک درصد قرار گرفتند، سپس به ترتیب با آب معمولی و آب مقطر شستشو داده شدند. بذورهای لوبیا که عمل جوانه زنی آن‌ها در داخل ژرمیناتور بر روی کاغذ صافی مرطوب و درون ظروف پتری‌دیش صورت گرفته بودند درون گلدان در عمق ۳ سانتی متری کاشته شدند. در مرحله ۶-۴ برگی عملیات تنک بوته‌ها انجام شد و در داخل هر گلدان ۴ گیاهچه باقی ماند. محلول پاشی بوته‌ها با سالیسیلیک اسید پس از استقرار کامل بوته‌ها، در طول دوره رشد و نمو گیاه سه بار با فاصله‌های ۱۵ روز انجام شد. نخستین مرحله اعمال اسید سالیسیلیک ۱۵ روز پس از کشت صورت پذیرفت. به طوری که برگ‌های گیاه کاملاً خیس شدند. برای ۰/۵ و ۱ میلی مولار در لیتر سالیسیلیک اسید به ترتیب ۶۹/۰۶۰۳۷ و ۱۳۸/۱۲۰۷۴ گرم در هر لیتر آب استفاده گردید. آبیاری گلدان‌ها تا انتهای فصل

رشد به طور مرتب تا رسیدن رطوبت خاک به ظرفیت زراعی صورت گرفت.

نمونه گیری از گیاه زراعی: برای اندازه گیری وزن خشک نمونه های مورد نظر به مدت ۴۸ ساعت در آون در دمای ۷۲ درجه سانتی گراد قرار گرفتند و سپس با استفاده از ترازوی دقیق توزین گردید. به منظور اندازه گیری محتوای نسبی آب برگ، از جوان ترین برگ بالغ در هر بوته، تعداد ۵ عدد نمونه با قطر ۰/۵ سانتی متر تهیه و وزن تر آن ها بلافاصله تعیین شد. این نمونه ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق و در تاریکی در آب مقطر غوطه ور گردیده و پس از آن، وزن اشباع آن ها اندازه گیری شد. سپس نمونه ها جهت تعیین وزن خشک به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد در آون و تا رسیدن به وزن ثابت خشکانده شد و وزن خشک آن ها تعیین گردید. سپس با استفاده از فرمول زیر میزان آب نسبی برگ بر حسب درصد محاسبه شد (Schonfeld et al., 1988):

$$RWC = \frac{FW - DW}{TD - DW} \times 100$$

برای سنجش غلظت کلروفیل، ۰/۲ گرم نمونه برگی در استون ۸۰ درصد عصاره گیری شد. سپس عصاره حاصل بر روی کاغذ صافی قرار داده شد و تا رسیدن به حجم ۲۵ میلی لیتر و استخراج کامل کلروفیل از بافت برگ به آن استون اضافه گردید. جذب نوری کلروفیل a و b به ترتیب در طول موج های ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر خوانده شد و با استفاده از فرمول مربوطه غلظت کلروفیل کل به دست آمد (Arnon, 1972).

$$A = (12.25 \times A_{663}) - (2.79 \times A_{645})$$

$$B = (21.21 \times A_{645}) - (5 \times A_{663})$$

$$TOTAL\ Chl\ (mg/ml) = chl_a + chl_b$$

به منظور اندازه گیری غلظت نیکل از روش جذب اتمی (Lozak and Soltyk, 2002) استفاده شد. برای

این منظور ۰/۵ از بافت گیاهی خشک را در ۱۰ میلی لیتر نیتریک اسید ۸۰ درصد به مدت ۲۴ ساعت در شرایط آزمایشگاه قرار داده شد تا نمونه گیاهی به خوبی در اسید هضم شود. پس از این مدت محلول حاصل به منظور خارج شدن بخارات اسیدی از محلول، گرم گردیدند. سپس حجم محلول را با آب مقطر به ۵۰ میلی لیتر رسانده و از کاغذ صافی عبور داده شده. از محلول به دست آمده برای اندازه گیری عناصر مورد نظر، از دستگاه طیف نگار جذب اتمی^۲ مدل Spectra AA 220 ساخت آمریکا استفاده گردید.

محاسبات آماری

پس از پایان آزمایشات برای تجزیه و تحلیل داده ها از نرم افزار SAS و جهت مقایسه میانگین ها، از آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد استفاده گردید.

نتایج

ارتفاع بوته و طول ریشه: نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که اثر نیکل و سالیسیلیک اسید در سطح احتمال یک درصد روی ارتفاع بوته و طول ریشه معنی دار شده بود، همچنین اثر متقابل نیکل و سالیسیلیک اسید تأثیر معنی داری را روی ارتفاع بوته و طول ریشه در سطح احتمال پنج درصد نشان داد. با اعمال نیکل ارتفاع بوته و طول ریشه نسبت به شاهد کاهش یافت، به طوری که کمترین ارتفاع بوته و طول ریشه در تیمار ۱۵۰ میلی گرم در کیلوگرم نیکل حاصل شد که حکایت از کاهش ۶۷/۲۴ درصدی و ۴۷/۳۷ صفات مذکور داشت (جدول ۳). ارتفاع بوته و طول ریشه در شرایط کاربرد سالیسیلیک اسید افزایش پیدا کرد، به طوری که بیشترین ارتفاع بوته به میزان

^۱ وزن تازه برگ

^۲ وزن خشک برگ

^۳ وزن اشباع برگ

^۲ Atomic Absorption Spectrometer

۳۱/۱۷ سانتی‌متر در تیمار ۱ میلی‌مولار در لیتر سالیسیلیک اسید و کمترین ارتفاع بوته به میزان ۲۴/۶۸ سانتی‌متر در تیمار شاهد مشاهده گردید، به بیان دیگر مصرف ۱ میلی‌مولار در لیتر سالیسیلیک اسید موجب افزایش ۲۶/۳ درصدی ارتفاع بوته نسبت به شاهد شد. همچنین حداکثر طول ریشه به میزان ۱۵/۴۹ و ۱۶/۴۳ سانتی‌متر در تیمار ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار در لیتر سالیسیلیک اسید حاصل شد (جدول ۴). بیشترین ارتفاع بوته و طول ریشه در شرایط مطلوب مربوط به تیمار ۰/۵ میلی‌مولار در لیتر سالیسیلیک اسید و در شرایط نیکل ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک مربوط به تیمار ۱ میلی‌مولار در لیتر سالیسیلیک اسید بود. در شرایط نیکل ۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک حداکثر ارتفاع بوته در تیمار ۱ میلی‌مولار در لیتر سالیسیلیک اسید مشاهده گردید، در طول ریشه کاربرد ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار در لیتر سالیسیلیک اسید تأثیر معنی‌داری با هم نداشتند (جدول ۵).

وزن خشک ریشه و بوته: بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر نیکل و سالیسیلیک اسید در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال پنج درصد روی وزن خشک ریشه و بوته معنی‌دار شدند (جدول ۲). با اعمال نیکل، کاهش وزن خشک ریشه و بوته نسبت به شاهد رخ داد، به بیان دیگر با اعمال ۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک نیکل، وزن خشک ریشه و بوته به ترتیب به میزان ۶۷/۰۷ و ۶۴/۱۲ درصد نسبت به شاهد کاهش پیدا کرد (جدول ۳). مصرف سالیسیلیک اسید موجب افزایش وزن خشک ریشه و بوته نسبت به شاهد شد، حداکثر وزن خشک ریشه به میزان ۱/۵ و ۱/۴۸ گرم به ترتیب مربوط به تیمارهای ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار در لیتر سالیسیلیک اسید بود. همچنین بالاترین وزن خشک بوته به میزان ۲۳/۹۲ گرم در تیمار ۱ میلی‌مولار در

لیتر سالیسیلیک اسید به دست آمد (جدول ۴). نتایج به دست آمده از مقایسه میانگین وزن خشک ریشه و بوته تحت اثر نیکل و سالیسیلیک اسید مبین آن بود که بیشترین وزن خشک ریشه و بوته در شرایط مطلوب مربوط به تیمار ۰/۵ میلی‌مولار در لیتر سالیسیلیک اسید بود. بالاترین وزن خشک ریشه در حضور ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک نیکل را تیمار ۱ میلی‌مولار در لیتر میکرومولار سالیسیلیک اسید به خود اختصاص داد، در شرایط نیکل ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار در لیتر سالیسیلیک اسید مشاهده نشد. همچنین حداکثر وزن خشک بوته در شرایط مطلوب و حضور نیکل ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک مربوط به تیمار ۰/۵ میلی‌مولار در لیتر سالیسیلیک اسید و در شرایط نیکل ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک مربوط به تیمار ۱ میلی‌مولار در لیتر سالیسیلیک اسید بود (جدول ۵).

تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف: نتایج تجزیه واریانس بیانگر این بود که اثرات اصلی نیکل و سالیسیلیک اسید در سطح احتمال یک درصد روی تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف معنی‌دار شد. همچنین اثر متقابل آن‌ها تأثیر معنی‌داری را در سطح احتمال پنج درصد بر تعداد غلاف در بوته نشان داد (جدول ۲). اعمال نیکل موجب کاهش تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف نسبت به شاهد شد. بیشترین کاهش تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف به میزان ۷۲/۲۶ و ۵۷/۷۴ درصد در تیمار نیکل ۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک به دست آمد (جدول ۳). با مصرف سالیسیلیک اسید تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف نسبت به شاهد افزایش یافت، همچنین سطوح ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار در لیتر سالیسیلیک اسید در یک گروه آماری قرار داشتند (جدول ۴).

جدول ۲: نتایج تجزیه واریانس اثر محلول پاشی سالیسیلیک اسید بر خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک لوبیا در شرایط تنش نیکل

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع بوته	طول ریشه	وزن خشک	وزن خشک	تعداد غلاف	تعداد دانه	وزن صد	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	محتوای نسیج	نیکل ریشه	نیکل اندام هوایی
نیکل (a)	۳	۴۸۶۷ ^{***}	۱۳۷۰ ^{***}	۱/۲ ^{***}	۷۱۷۰۴ ^{***}	۳۶۰۸ ^{***}	۱۱/۱۷ ^{***}	۱۶۹۰۴ ^{***}	۱۱/۳۱ ^{***}	۱/۱۳ ^{***}	۴۴/۵۱ ^{***}	۳۱۵۰۴ ^{***}	۸۹/۸۸ ^{***}	۴۳/۸۷ ^{***}
سالیسیلیک اسید (b)	۲	۱۳۷۸ ^{***}	۶۲۲۹ ^{***}	۰/۳۲ ^{***}	۸۷۲۸ ^{***}	۱۸۸۳ ^{***}	۱/۵ ^{***}	۴۶۳۵ ^{***}	۱۸۸۳ ^{***}	۱/۱۳ ^{***}	۳۰/۸۴ ^{***}	۲۹۸۳۳ ^{***}	۳۰/۸۳ ^{***}	۶۸۰۴ ^{***}
a*b	۶	۲۸۰۴۹ [*]	۷/۸۳ [*]	۰/۰۷ [*]	۱۴۰۰۴ [*]	۰/۳۴ [*]	۰/۱۵ ^{ns}	۹۰۶۹ ^{ns}	۱/۹۱ [*]	۰/۱۷ [*]	۲/۷۷ [*]	۱۳۷۷۵ [*]	۲۷۷۵ [*]	۱۰۰۰۹ ^{ns}
خطا	۲۴	۱۱/۱۱	۲/۵۱	۰/۰۳	۵/۴۷	۰/۱	۰/۱۴	۷/۱۶	۰/۶۹	۰/۰۶	۰/۹۱	۲۴/۷۳	۰/۳۹	۰/۵۲
CV%		۱۱/۸۸	۱۰/۷۹	۱۱/۸۴	۱۱/۰۵	۹/۸۶	۱۱/۷۳	۹/۹۶	۱۳/۹۹	۱۱/۳۱	۱۰/۴۹	۷/۴۷	۱۰/۵۱	۱۸/۲۱

* و ** و *** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد و ANOVA تاثیر غیر معنی دار

جدول ۳: مقایسه میانگین های تأثیر سطوح مختلف نیکل بر خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک لوبیا

نیکل (میلیگرم بر سانتی متر)	طول ریشه (سانتی متر)	وزن خشک (گرم)	وزن خشک (گرم)	تعداد غلاف در بوته	تعداد دانه در غلاف (گرم)	وزن صد (گرم)	کلروفیل a (میلیگرم بر گرم)	کلروفیل b (میلیگرم بر گرم)	کلروفیل کل (میلیگرم بر گرم)	محتوای نسیج آب برگ (درصد)	نیکل ریشه (میلیگرم بر گرم)	نیکل اندام هوایی (میلیگرم بر گرم)	نیکل دانه (میلیگرم بر گرم)
۰	۳۷/۳ ^a	۱۷۸ ^a	۳۲/۴۹ ^a	۵/۴۸ ^a	۴/۳۳ ^a	۲۹/۸۴ ^a	۷/۸۳ ^a	۲/۶۳ ^a	۱۱/۱۶ ^a	۷۴/۸۱ ^a	۱/۵۷ ^a	۱/۸۴ ^a	۱/۱ ^d
۵۰	۳۰/۰۷ ^b	۱۵۹۷ ^b	۱/۵۵ ^b	۳/۷۷ ^b	۳/۷۹ ^b	۳۷/۳ ^b	۷/۷۴ ^b	۲/۲۷ ^b	۱۰/۵۳ ^b	۷۷/۲۹ ^b	۵/۷۳ ^b	۳/۶۸ ^b	۱/۴۳ ^c
۱۰۰	۲۴/۹۵ ^c	۱۳۱۹ ^c	۱/۲۴ ^c	۱۷/۵۴ ^c	۲/۴۳ ^c	۲۶/۸۴ ^b	۵/۸۴ ^b	۲/۰۹ ^c	۸/۳۳ ^b	۳۳/۰۷ ^b	۷/۷۳ ^b	۳/۶۱ ^b	۱/۹۷ ^b
۱۵۰	۲۰/۵ ^d	۱۰۱۸ ^d	۰/۹۹ ^d	۱۱/۶۲ ^d	۱/۵۳ ^d	۱۹/۷۳ ^c	۴/۴۴ ^c	۱/۷۸ ^d	۷/۲۸ ^c	۶۱/۳۱ ^c	۸/۶۵ ^c	۷/۰۰۴ ^c	۲/۴۱ ^c

میانگین های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵٪ تفاوت معنی داری ندارند.

جدول ۴: مقایسه میانگین های تأثیر محلول پاشی سالیسیلیک اسید بر خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک لوبیا

سالیسیلیک اسید (میلی مول بر لیتر)	ارتفاع بوته (سانتیمتر)	طول ریشه (سانتیمتر)	وزن خشک (گرم)	وزن خشک (گرم)	تعداد غلاف در بوته	تعداد دانه در غلاف (گرم)	وزن صد (گرم)	کلروفیل a (میلیگرم بر گرم)	کلروفیل b (میلیگرم بر گرم)	کلروفیل کل (میلیگرم بر گرم)	محتوای نسیج آب برگ (درصد)	نیکل ریشه (میلیگرم بر گرم)	نیکل اندام هوایی (میلیگرم بر گرم)	نیکل دانه (میلیگرم بر گرم)
۰	۲۴/۸۴ ^a	۱۲۱ ^b	۱/۱۹ ^b	۱۸/۹۹ ^a	۲/۸۸ ^b	۲/۷۷ ^b	۲۲/۷۳ ^a	۴/۵۳ ^c	۱/۸۹ ^b	۷/۲۹ ^c	۶۱/۱۱ ^b	۴/۳۵ ^c	۴/۶۶ ^c	۲/۰۹ ^c
۰/۵	۲۸/۳۱ ^b	۱۵/۴۹ ^b	۱/۵۵ ^b	۲۱/۲۵ ^b	۳/۴۱ ^b	۳/۳۳ ^b	۲۴/۸۴ ^b	۷/۲۵ ^b	۲/۴۹ ^b	۹/۵۳ ^b	۷۷/۲۹ ^b	۵/۸۱ ^b	۴/۰۱ ^b	۱/۷۵ ^b
۱	۳۱/۱۷ ^c	۱۷/۴۳ ^c	۱/۴۸ ^c	۲۳/۸۹ ^c	۳/۶۳ ^c	۳/۴۳ ^c	۲۶/۶۶ ^c	۷/۹۷ ^a	۲/۳۳ ^c	۱۰/۳۹ ^a	۷۰/۸۹ ^a	۷/۵۴ ^a	۳/۱۶ ^c	۱/۳۴ ^c

میانگین های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵٪ تفاوت معنی داری ندارند.

نتایج به دست آمده از مقایسه میانگین تعداد غلاف در بوته تحت اثر نیکل و سالیسیلیک اسید نشان داد که بیشترین تعداد غلاف در بوته در شرایط مطلوب و حضور ۱۰۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک نیکل مربوط به تیمار ۰/۵ میلی مولار در لیتر سالیسیلیک اسید و در شرایط حضور ۵۰ و ۱۵۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک نیکل مربوط به تیمار ۱ میلی مولار در لیتر سالیسیلیک اسید بود (جدول ۵).

وزن صد دانه: نتایج تجزیه واریانس مبین این بود که اثر نیکل و سالیسیلیک اسید در سطح احتمال یک درصد بر وزن صد دانه معنی دار شد ولی در اثر متقابل آن‌ها تأثیر معنی داری مشاهده نگردید (جدول ۲). با اعمال نیکل وزن صد دانه کاهش نشان داد به نحوی که بیشترین وزن صد دانه در تیمار شاهد به مقدار ۲۹/۸۴ گرم حاصل شد. همچنین کمترین وزن صد دانه به مقدار ۱۹/۷۶ گرم از تیمار ۱۵۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک نیکل به دست آمد. نتایج حاکی از کاهش ۳۳/۷۸ درصدی وزن صد دانه در شرایط اعمال ۱۵۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک نیکل نسبت به شاهد بود (جدول ۳). کاربرد سالیسیلیک اسید سبب افزایش وزن صد دانه نسبت به شاهد گردید، به گونه‌ای که بیشترین وزن صد دانه به میزان ۲۶/۶۶ گرم در تیمار ۱ میلی مولار در لیتر سالیسیلیک اسید حاصل گردید که بیانگر افزایش ۱۷/۲۹ درصدی وزن صد دانه نسبت به شاهد بود (جدول ۴).

رنگیزه‌های فتوسنتزی: نتایج تجزیه واریانس بیانگر این بود که نیکل و سالیسیلیک اسید در سطح احتمال یک درصد بر کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل به طور معنی داری تأثیر داشت، اثر متقابل نیکل و سالیسیلیک اسید تأثیر معنی داری بر رنگیزه‌های فتوسنتزی در سطح احتمال پنج درصد تأثیر معنی دار داشت (جدول ۲). با اعمال نیکل رنگیزه‌های فتوسنتزی کاهش پیدا کرد بیشترین کاهش کلروفیل a،

کلروفیل b و کلروفیل کل به ترتیب به مقدار ۳۴/۹۹، ۲۳/۳۲ و ۴۳/۷۳ درصد در تیمار ۱۵۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک نیکل به میزان ۴/۴۴ میلی گرم در گرم وزن تر حاصل شد (جدول ۳). مصرف سالیسیلیک اسید افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی را نسبت به شاهد سبب شد، حداکثر افزایش کلروفیل a و کلروفیل کل به مقدار ۵۳/۸۶ و ۴۲/۵۲ درصد از تیمار تیمار ۱ میلی مولار در لیتر سالیسیلیک اسید به دست آمد. در کلروفیل b تیمارهای ۰/۵ و ۱ میلی مولار در لیتر سالیسیلیک اسید در یک گروه آماری واقع شده بودند (جدول ۴). نتایج حاصل از مقایسه میانگین رنگیزه‌های فتوسنتزی تحت تأثیر نیکل و سالیسیلیک اسید بیانگر این بود که بیشترین کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل در شرایط مطلوب مربوط به تیمار ۰/۵ میلی مولار در لیتر سالیسیلیک اسید حاصل شدند. حداکثر کلروفیل a و کلروفیل کل در شرایط اعمال نیکل ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک مربوط به تیمار ۱ میلی مولار در لیتر سالیسیلیک اسید بود. بالترین کلروفیل b در شرایط اعمال نیکل ۵۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک مربوط به تیمار ۰/۵ میلی مولار در لیتر سالیسیلیک اسید و در شرایط نیکل ۱۰۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک مربوط به تیمار ۱ میلی مولار در لیتر سالیسیلیک اسید بود. در شرایط حضور نیکل ۱۵۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک تفاوت معنی داری بین تیمارهای ۰/۵ و ۱ میلی مولار در لیتر سالیسیلیک اسید مشاهده نشد (جدول ۵).

محتوای نسبی آب برگ: بر اساس نتایج تجزیه واریانس، نیکل و سالیسیلیک اسید در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی داری بر روی محتوای نسبی آب برگ داشت. همچنین در اثر متقابل نیکل و سالیسیلیک اسید تأثیر معنی داری از نظر محتوای نسبی آب برگ در سطح احتمال پنج درصد مشاهده گردید (جدول ۲). افزایش نیکل موجب کاهش محتوای نسبی آب

برگ شد، به گونه‌ای که بیشترین محتوای نسبی آب برگ به میزان ۷۴/۶۱ درصد مربوط به شاهد و کمترین محتوای نسبی آب برگ به میزان ۶۱/۳۱ درصد مربوط به تیمار ۱۵۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک نیکل بود (جدول ۳). محتوای نسبی آب برگ با مصرف سالیسیلیک اسید نسبت به شاهد افزایش پیدا کرد، به نحوی که بالاترین محتوای نسبی آب برگ در تیمار ۰/۵ و ۱ میلی مولار در لیتر سالیسیلیک اسید به میزان ۶۷/۷ و ۷۰/۸۹ درصد و پایین‌ترین محتوای نسبی آب برگ در تیمار شاهد به میزان ۶۱/۱۱ درصد حاصل شد (جدول ۴). همانطور که از نتایج مقایسه میانگین درصد محتوای نسبی آب برگ تحت تأثیر فاکتور نیکل و سالیسیلیک اسید مشهود است بیشترین محتوای نسبی آب برگ در شرایط مطلوب و نیکل ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک بیشترین محتوای نسبی آب برگ مربوط به تیمار ۱ میلی مولار در لیتر سالیسیلیک اسید بود، همچنین در نیکل ۵۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک بیشترین محتوای نسبی آب برگ از تیمار ۰/۵ میلی مولار در لیتر سالیسیلیک اسید به دست آمد (جدول ۵).

تجمع نیکل در اندام‌های مختلف گیاه

نیکل ریشه: بر اساس نتایج حاصل شده از تجزیه واریانس اثر نیکل و سالیسیلیک اسید در سطح احتمال یک درصد بر روی نیکل ریشه معنی‌دار بود. همینطور اثر متقابل نیکل و سالیسیلیک اسید بر نیکل ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). با اعمال نیکل، به جذب نیکل در ریشه افزوده شد بیشترین نیکل ریشه به میزان ۸/۶۵ میلی گرم در کیلوگرم وزن خشک در تیمار ۱۵۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک نیکل رخ داد (جدول ۳). با مصرف

سالیسیلیک اسید نسبت به شاهد افزایش پیدا کرد، به نحوی که بالاترین نیکل ریشه در تیمار ۱ میلی مولار در لیتر سالیسیلیک اسید به میزان ۷/۵۴ میلی گرم در گرم وزن خشک حاصل شد که نسبت به شاهد ۷۳/۳۳ درصد افزایش داشت (جدول ۴). همانطور که از نتایج مقایسه میانگین نیکل ریشه تحت تأثیر فاکتور سالیسیلیک اسید مشهود است کاربرد سالیسیلیک اسید در شرایط اعمال نیکل با افزایش جذب نیکل در ریشه همراه بود. بیشترین غلظت نیکل به مقدار ۱۰/۲۱ میلی گرم در گرم وزن خشک در تیمار ۱ میلی مولار در لیتر سالیسیلیک اسید در حضور ۱۵۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک نیکل و کمترین غلظت نیکل به مقدار ۰/۹۷ میلی گرم در گرم وزن خشک در کاربرد تیمار شاهد به دست آمد (جدول ۵).

نیکل اندام هوایی: بر اساس نتایج حاصل شده از تجزیه واریانس اثر نیکل و سالیسیلیک اسید در سطح احتمال یک درصد بر روی نیکل اندام هوایی معنی‌دار بود. همینطور اثر متقابل نیکل و سالیسیلیک اسید بر نیکل اندام هوایی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). با افزایش نیکل، به جذب نیکل در اندام هوایی افزوده شد به نحوی که بیشترین نیکل اندام هوایی به میزان ۷/۰۴ میلی گرم در کیلوگرم وزن خشک در تیمار ۱۵۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک نیکل به دست آمد (جدول ۳). با مصرف سالیسیلیک اسید نسبت به شاهد کاهش پیدا کرد، به طوری که کمترین نیکل اندام هوایی در تیمار ۱ میلی مولار در لیتر سالیسیلیک اسید به میزان ۳/۱۶ میلی گرم در گرم وزن خشک و بیشترین نیکل اندام هوایی در تیمار شاهد به میزان ۴/۶۶ میلی گرم در گرم وزن خشک حاصل شد که بیانگر کاهش ۳۲/۳۹ درصدی نیکل در اندام هوایی بود (جدول ۴).

جدول ۵: مقایسه میانگین‌های تأثیر محلول پاشی سالیسیک اسید بر خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک لوبیا در شرایط تنش نیکل

نیکل اندام	نیکل ریشه	محتوای نسبی	کلروفیل کل	کلروفیل b	کلروفیل a	تعداد غلاف	وزن خشک	وزن خشک	طول	ارتفاع	سالیسیک اسید (میلی مول بر لیتر)	نیکل (میلیگرم بر کیلوگرم)
هوازی	(میلیگرم بر گرم)	آب برگ	(میلیگرم بر گرم)	(میلیگرم بر گرم)	(میلیگرم بر گرم)	در بوته	بوته	ریشه	ریشه	بوته		
وزن خشک	وزن خشک	(درصد)	وزن تازه	وزن تازه	وزن تازه		(گرم)	(گرم)	(سانتیمتر)	(سانتیمتر)		
۱/۶۴ ^f	۰/۹۷ ^f	۷۰/۵۳ ^{bc}	۹/۳۵ ^{de}	۲/۳۷ ^{abcd}	۵/۴۵ ^{cd}	۵/۰۷ ^{bc}	۲۸/۰۵ ^{ac}	۱/۶۱ ^{abcd}	۱۶/۱ ^{cd}	۳۳/۱۷ ^{bc}	۰	۰
۲/۳۳ ^{ef}	۱/۸ ^e	۶۹/۹۸ ^{bc}	۱۲/۹۸ ^{ab}	۲/۹۹ ^a	۸/۲۵ ^a	۵/۸ ^a	۳۲/۲۷ ^b	۲/۰۸ ^b	۲۲/۶۵ ^b	۴۲/۰۴ ^a	۰/۵	۰
۱/۶۵ ^f	۲/۰۳ ^e	۸۳/۳۴ ^a	۱۱/۱۶ ^{bc}	۲/۵۱ ^{bc}	۶/۸ ^{abc}	۵/۵۷ ^{ab}	۳۶/۸۵ ^a	۱/۶۸ ^{bc}	۱۹/۳۱ ^b	۳۷/۴ ^b	۱	۰
۴/۱۶ ^{cd}	۳/۳۲ ^d	۶۴/۲۶ ^{abcd}	۸/۲۶ ^{ef}	۱/۹۷ ^{de}	۴/۸۲ ^{de}	۳/۲ ^{de}	۲۱/۵۷ ^c	۱/۳۴ ^d	۱۳/۶ ^{de}	۲۷/۲۷ ^{cd}	۰	۵۰
۳/۴۷ ^{cde}	۵/۴۸ ^c	۷۳/۱۶ ^b	۱۱/۰۷ ^{bc}	۲/۷۴ ^{ab}	۷/۰۷ ^{ab}	۳/۶ ^d	۳۶/۴۴ ^{cd}	۱/۵۳ ^{cd}	۱۵/۸۳ ^{cd}	۲۷/۲۷ ^{cd}	۰/۵	۵۰
۲/۲۱ ^{ef}	۸/۲۱ ^b	۶۴/۴۴ ^{abcd}	۱۲/۲۷ ^{ab}	۲/۱۱ ^{cde}	۸/۳۴ ^a	۴/۵۷ ^c	۲۳/۲۶ ^{de}	۱/۸۵ ^{ab}	۱۸/۴۷ ^{bc}	۳۵/۶۶ ^b	۱	۵۰
۴/۶ ^{bc}	۵/۳۸ ^c	۵۵/۴۹ ^{de}	۶/۶۳ ^{fg}	۱/۶۶ ^{ef}	۴/۴۷ ^{de}	۲ ^g	۱۵/۶۲ ^f	۱/۰۱ ^e	۱۰/۷۱ ^e	۲۰/۹۷ ^{efg}	۰	۱۰۰
۲/۹۳ ^{def}	۸/۰۴ ^b	۶۴/۶ ^{abcd}	۸/۱۹ ^{ef}	۲/۱۱ ^{cde}	۵/۴۳ ^{cd}	۲/۸۳ ^{ef}	۱۶/۰۴ ^f	۱/۳۴ ^d	۱۲/۵۳ ^e	۲۵/۲۶ ^{de}	۰/۵	۱۰۰
۳/۳۰ ^{cde}	۹/۷۴ ^a	۶۹/۵۱ ^{bc}	۱۰/۲۵ ^{cd}	۲/۵۱ ^{bc}	۷/۰۱ ^{ab}	۲/۴۷ ^{fg}	۲۰/۸۸ ^e	۱/۳۷ ^d	۱۶/۳۲ ^{cd}	۲۸/۶۳ ^{cd}	۱	۱۰۰
۸/۲۵ ^a	۷/۷۴ ^b	۵۴/۱۸ ^c	۴/۹۴ ^h	۱/۴۳ ^f	۳/۳۷ ^c	۱/۲۳ ^f	۹/۵ ^g	۰/۸ ^f	۷/۹۸ ^f	۱۷/۳۳ ^{ef}	۰	۱۵۰
۷/۴ ^a	۸/۰۱ ^b	۶۳/۴۷ ^{cd}	۶/۰۱ ^{gh}	۱/۹۹ ^{de}	۴/۲۴ ^{de}	۱/۴ ^{hi}	۱۰/۶۶ ^g	۱/۰۵ ^e	۱۰/۹۳ ^e	۱۸/۶۸ ^{fg}	۰/۵	۱۵۰
۵/۴۷ ^b	۱۰/۲۱ ^a	۶۶/۲۸ ^{bc}	۷/۸۸ ^{ef}	۱/۹ ^{de}	۵/۷۱ ^{bcd}	۱/۹۳ ^{gh}	۱۴/۶۹ ^f	۱/۰۱ ^e	۱۱/۶۳ ^e	۲۳/۹۸ ^{def}	۱	۱۵۰

میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند

کاربرد سالیسیلیک اسید در شرایط اعمال نیکل با کاهش جذب نیکل در اندام هوایی همراه بود. بیشترین غلظت نیکل به مقدار ۸/۲۵ و ۷/۴ میلی گرم در گرم وزن خشک در عدم کاربرد و کاربرد ۰/۵ میلی مولار در لیتر سالیسیلیک اسید در حضور ۱۵۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک نیکل و کمترین غلظت نیکل به مقدار ۱/۶۴ و ۱/۶۵ میلی گرم در گرم وزن خشک در تیمار شاهد و کاربرد یک میلی مولار در لیتر سالیسیلیک اسید در عدم اعمال نیکل به دست آمد (جدول ۵).

نیکل دانه: نتایج تجزیه واریانس مبین این بود که اثر نیکل و سالیسیلیک اسید در سطح احتمال یک درصد بر نیکل دانه معنی دار شد ولی در اثر متقابل آن‌ها تأثیر معنی داری مشاهده نگردید (جدول ۲). با اعمال نیکل، نیکل دانه افزایش نشان داد به نحوی که کمترین نیکل دانه در تیمار شاهد به مقدار ۱/۱ میلی گرم در گرم وزن خشک حاصل شد. همچنین بیشترین نیکل دانه به مقدار ۲/۴۱ میلی گرم در گرم وزن خشک از تیمار ۱۵۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک نیکل به دست آمد (جدول ۳). کاربرد سالیسیلیک اسید سبب کاهش جذب نیکل در دانه نسبت به شاهد گردید، به گونه‌ای که بیشترین نیکل دانه به میزان ۲/۰۶ میلی گرم در گرم وزن خشک در تیمار شاهد و کمترین نیکل دانه در تیمار ۱ میلی مولار در لیتر سالیسیلیک اسید به مقدار ۱/۳۷ میلی گرم در گرم وزن خشک حاصل گردید که حاکی از کاهش ۳۳/۴۹ درصدی غلظت نیکل در دانه بود (جدول ۴).

بحث

نتایج این تحقیق نشان داد که افزایش غلظت نیکل منجر به کاهش رشد اندام هوایی و ریشه گردید (جدول ۴)، این احتمال داده می‌شود که فلزات سنگین رشد ریشه و ساقه را مستقیماً به وسیله مهار تقسیم سلولی یا

تطویل سلولی یا به وسیله ترکیبی از هر دو مهار می‌نمایند (Wang et al., 2010). تنش فلزات سنگین از جمله نیکل از مهم ترین عوامل محدودکننده رشد ریشه است که با کاهش تقسیم سلولی و تطویل شدن آن ارتباط دارد (Muhammad and Hussain, 2010). به طور کلی ایجاد تغییر در مورفولوژی ریشه در اثر افزایش غلظت نیکل و تغییر ساختار ریشه باعث کاهش جذب مواد غذایی شده و کاهش رشد و وزن خشک گیاه را به دنبال دارد (Fuentes et al., 2006).

سالیسیلیک اسید، تطویل شدن و تقسیم سلولی را همراه با هورمون‌هایی مانند اکسین تنظیم می‌کند که منجر به افزایش ماده خشک و ارتفاع بوته گیاهان مختلف در شرایط تنش می‌گردد (Hayat et al., 2010). محققین بیان کردند که سالیسیلیک اسید با افزایش تقسیم و تطویل شدن سلولی، افزایش فعالیت‌های آنزیمی و تولیدات فتوسنتزی توانست رشد گیاه را بهبود و منجر به افزایش ارتفاع گیاه گردید (Bakry et al., 2012). سالیسیلیک اسید موجب افزایش طول ریشه می‌شود، این افزایش رشد سیستم ریشه‌ای و حفظ سلامت آن به وسیله سالیسیلیک اسید باعث جذب بیشتر آب و مواد غذایی شده که در نهایت منجر به افزایش رشد گیاه می‌شود (Hamada and Al-Hakimi, 2000). افزایش سیستم ریشه‌ای یکی از عواملی است که می‌تواند به افزایش رشد کمک کند، زیرا امکان جذب آب و مواد معدنی بیشتری را برای گیاه فراهم می‌کند. سالیسیلیک اسید از طریق بهبود اثرات اکسین در سیستم ریشه‌دهی، رشد ریشه را بهبود بخشید (Hayat et al., 2010).

نیکل باعث کاهش وزن و رشد ریشه و اندام هوایی در گیاه جعفری (*Petroselinum crispum*) می‌شود (Khatib et al., 2008). در نتیجه کاهش رشد ریشه، میزان جذب آب و یون‌های معدنی کاهش می‌یابد که نتیجه آن کاهش رشد عمومی گیاهان است

بهبود شرایط فتوسنتزی سبب افزایش تعداد غلاف و دانه می شود (Seyed Hajizadeh and Aliloo, 2013).

نیکل اضافی می تواند از رشد و نمو گیاه جلوگیری کند، کلروزیس و پژمردگی برگ را القا نماید و کل محصول نهایی گیاه را کاهش دهد. سمیت نیکل می تواند از شدت فتوستتز بکاهد و فعالیت آنزیم های مربوط به آن را تغییر دهد و باعث کاهش وزن دانه گردد (Chen et al., 2009). مشخص شده است که محلول پاشی سالیسیلیک اسید باعث افزایش فتوستتز در گیاه و جریان مواد پرورده گیاه و تأمین مواد مورد نیاز برای پرکردن دانه ها در گیاه آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) می شود که باعث ایجاد دانه های بهتر و قوی تر می شود (Noreen and Ashraf, 2008). کاربرد خارجی سالیسیلیک اسید از طریق افزایش فتوستتز در برگ ها و در نتیجه ذخیره مواد فتوستتزی در دانه، از کاهش تعداد و وزن بذرها در گیاه هویج جلوگیری می کند (Eraslan et al., 2007).

فلزات سنگین با جلوگیری از جذب عناصر ضروری مثل منیزیم و آهن می توانند از سنتز کلروفیل جلوگیری کنند. از طرف دیگر فلزات سنگین می توانند در مراحل مختلف سنتز کلروفیل اختلال ایجاد نمایند که نتیجه آن کاهش محتوای کلروفیل در گیاهان تحت تنش است (Singh and Kaur, 2012). فلزات سنگین سبب مهار فعالیت آنزیم ۵ آمینولوینیک اسید هیدراتاز شده که کاهش تجمع کلروفیل به دنبال دارد (Prasad and Freitas, 2003). مطالعات نشان داده است که نیکل مازاد می تواند رشد گیاه کلزا (*Brassica napus* L.) را مهار نموده، موجب تخریب کلروفیل گردیده و با فعالیت سیستم نوری مداخله نماید (Ali et al., 2009). مصرف سالیسیلیک اسید از طریق افزایش آنزیم رویسکو موجب افزایش کلروفیل در گیاه گندم (*Triticum aestivum* L.) می گردد (Singh and Usha, 2003). تیمار گیاهان با سالیسیلیک اسید باعث افزایش

(Rashid Shomali et al., 2012). احتمال داده می شود که کاهش در بیوماس ناشی از تغییرات فرایندهای متابولیکی القاء شده توسط فلز نیکل و کاهش محتوای آب گیاه باشد (Yusuf et al., 2011). فلزهای سنگین با کاهش میزان سبزینه در برگ ها و کاهش فتوستتز موجب کاهش رشد و زیست توده گیاهان می شود (Pakdaman et al., 2013). کاربرد سالیسیلیک اسید باعث افزایش جذب دی اکسید کربن توسط کلروپلاست و افزایش زمان باز ماندن روزنه ها و در نتیجه افزایش سرعت فتوستتز شده که آن را می توان توجیهی در افزایش وزن خشک گیاه یونجه (*Medicago sativa*) دانست (Sheng et al., 2009).

کاهش در تعداد غلاف و دانه ممکن است در ارتباط با سمیت نیکل باشد. بدین صورت که سطوح بالای ماده این ماده می تواند مکانیسم های فیزیولوژیکی نرمال را مختل کرده و در نهایت از این طریق اثرات منفی بر تعداد غلاف و دانه داشته باشد (Bhardwaj and Yadav, 2012). انباشته شدن فلزات سنگین در محیط ریشه سیب زمینی شیرین (*Ipomoea batatas* L.)، هویج (*Daucus carota* L.) و خردل (*Raphanus sativus* L.) سبب کاهش جذب آب و مواد غذایی، کاهش انتقال آب و برهم خوردن تعادل آب، مهار فعالیت آنزیم ها، کاهش متابولیسم سلولی، کاهش فتوستتز، تنفس و تعرق، فقدان نیتروژن و فسفر و در نتیجه رشد اندام هوایی گردید (Cheng and Huang, 2006). سالیسیلیک اسید احتمالاً با تأثیر مستقیم یا غیر مستقیم بر افزایش تعداد سلول ها و یا افزایش اندازه آن ها منجر به افزایش سطح برگ می شود. به علاوه، شواهد نشان می دهد که سالیسیلیک اسید در فعالیت سائتوکینین نقش دارد و از این طریق می تواند سبب افزایش تعداد غلاف و دانه شود (Vicente and Plasencia, 2011). به نظر می رسد سالیسیلیک اسید از طریق افزایش تقسیم سلولی و

میزان رنگدانه‌ها می‌شود که احتمالاً به دلیل تأثیر سالیسیلیک اسید بر میزان تولید رادیکال‌های آزاد می‌باشد که در نتیجه از تخریب کلروفیل جلوگیری می‌شود (Miura and Tada, 2014).

بسیاری از فلزات سنگین با تغییر در فعالیت پروتئین‌های کانالی انتقال آب و با بستن روزنه‌های برگ، جریان آب را در گیاه متوقف می‌سازند. فلزهای سنگین با تغییر در فعالیت پروتئین‌های کانالی، انتقال آب و با بستن روزنه‌های برگ، جریان آب را در گیاه متوقف می‌سازند (Noorani Azad and Kafilzadeh, 2011). افزایش محتوای نسبی آب توسط سالیسیلیک اسید در افزایش تون سامانه دفاعی آنتی‌اکسیدانی، کاهش تنش کسیدتیو و افزایش همبستگی و پایداری غشا و تعدیل اسمزی از راه افزایش مقدار پتاسیم به عنوان یون بسیار مهم در حفظ فشار آماس (تورژسانس) یاخته‌ای باشد (Korkmaz et al., 2007).

گونه‌های گیاهی در محیط‌های آلوده به فلزهای سنگین می‌توانند بخشی از آن‌ها را جذب کنند و با افزایش میزان آلودگی این فلزها در خاک میزان جذب آن‌ها نیز افزایش خواهد یافت و به این طریق تا حدی از آلودگی محیط می‌کاهند و دوم اینکه قابلیت و توانایی انباشت فلزهای سنگین در گونه‌های گیاهی مختلف می‌تواند متفاوت باشد (Burken et al., 2011). مطالعات قبلی نشان داد که غلظت فلز سنگین موجود در گیاه یونجه با غلظت آن در خاک و محیط ارتباط مستقیم دارد و با افزایش غلظت میزان آن در اندام‌های گیاه افزایش پیدا می‌کند (Peralta-Videa et al., 2002). با توجه به انباشتگی بالاتر نیکل در ریشه نسبت به اندام‌های هوایی، به نظر می‌رسد در این

پژوهش کده بندی یون‌های نیکل در ریشه یک مکانیسم مقاومتی است که گیاه در برابر تنش فلز سنگین نیکل اعمال نموده است (Tagharobiyan et al., 2016). نتایج این تحقیق نشان داد حضور سالیسیلیک اسید، تجمع نیکل در ریشه‌ها برعکس اندام هوایی و دانه افزایش یافت. با توجه به اینکه در تیمارهای دارای سالیسیلیک اسید کاهش تجمع نیکل در اندام‌های هوایی تقریباً متناسب با افزایش تجمع نیکل در ریشه‌ها بوده است، بنابراین به نظر می‌رسد که سالیسیلیک اسید توانسته است از انتقال نیکل از ریشه به اندام هوایی بکاهد (Seregin and Kozhevnikova, 2006).

نتیجه‌گیری نهایی

مسمومیت نیکل منجر به اختلال در روند عادی رشد و کاهش میزان رشد و تجمع ماده خشک در گیاه و در نهایت کاهش رشد و وزن خشک اندام‌های مختلف لوبیا شد. می‌توان از نتایج به دست آمده به اثرات مثبت سالیسیلیک اسید به خصوص در شرایط حضور نیکل و کاهش اثرات منفی ناشی از آن تنش در لوبیا از طریق بهبود خصوصیات فیزیولوژیک و افزایش کلروفیل پی برد. بنابراین کاربرد سالیسیلیک اسید برای تعدیل بخشیدن اثرات منفی ناشی از تنش فلز سنگین نیکل پیشنهاد می‌گردد. همچنین مشاهده شد که سالیسیلیک اسید باعث افزایش جذب نیکل در ریشه و کاهش آن در اندام هوایی و دانه گردید. تجمع نیکل در ریشه و ممانعت نسبی از انتقال آن به شاخساره احتمالاً یک مکانیسم تحمل به این فلز سنگین در لوبیا در اثر کاربرد سالیسیلیک اسید است.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مراتب سپاس و قدردانی خود را از همراهی کلیه افرادی که در جهت انجام و به ثمر رسیدن این پروژه مشارکت داشتند ابراز می‌دارند.

References

- Ahmadi, K., Gholizadeh, H., Ebadzadeh, H., Hoseinpour, R., Addeshah, H., Kazemian, A. and Rafiee, M. (2016). Agriculture Statistics. Ministry of Jihad e Agriculture of Iran. Tehran, Iran. 1:125.
- Ali, M.A., Ashraf, M. and Athar, H.R. (2009). Influence of nickel stress on growth and some important physiological/ biochemical attributes in some diverse canola (*Brassica napus* L.) cultivars. Hazardous Materials, 172: 964-969.
- Amirinejad, A. A., Bahrami, M. and Ghobadi, M. (2018). Alkalinity stress, salicylic acid and soil type interactions on growth parameters in Mung bean (*Vigna radiate*). Iranian Journal of Soil and Water Research, 49(5):1083-1093.
- Arnon, I. (1972). Crop production in dry regions. Vol. II: Systematic treatments of the principal crops. Plant Science Monograph. Leonard Hill Books, London, 683 pp.
- Bakry, B. A., El-Hariri, D. M., Mervat, S. S. and El-Bassiouny, H. M. S. (2012). Drought stress mitigation by foliar application of salicylic acid in two linseed varieties grown under newly reclaimed sandy soil. Journal of Applied Sciences Research, 7: 3503-3514.
- Benaroya, R.O., Tzin, V., Tel-or, E. and Zamski, E. (2004). Lead accumulation in the aquatic fern *Azolla filiculoides*. Plant Physiology and Biochemistry, 42: 639-645.
- Bhardwaj, J., and Yadav, S.K. (2012). Comparative study on biochemical parameters and antioxidant enzymes in drought tolerant and a sensitive variety of Horsegram (*Macrotyloma uniflorum*) under drought stress. American Journal of Plant Physiology, 7(1): 17-29.
- Burken, J., Vroblesky, D. and Balouet, J. C. (2011). Phytoforensics, Dendrochemistry and Phytoscreening: New Green Tools for Delineating Contaminants from Past and Present. Environmental Science and Technology, 45(15), 6218-6226.
- Cabello-Conejo, M., Centofanti, T., Kidd, P., Prieto-Fernández, Á. and Chaney, R. (2013). Evaluation of plant growth regulators to increase nickel phytoextraction by Alyssum species. International Journal of Phytoremediation, 15: 365-75.
- Chen, C., Huang, D. and Liu, J. (2009). Functions and toxicity of Nickel in plants: advances and future prospects. – Clean Journal, 37: 304-313.
- Cheng, S and Huang, C. (2006). Influence of cadmium on growth of root vegetable and accumulation of cadmium in the edible root. International Journal of Applied Science and Engineering, 3: 243-252.
- Eraslan, F., Inal, A., Gunes, A., and Alpaslan, M. (2007). Impact of exogenous salicylic acid on growth, antioxidant activity and physiology of carrot plants subjected to combined salinity and boron toxicity. Scientia Horticulturae, 113: 120-128.
- Fathi, GH., Esmaeilpour, B. and Jalilvan, P. (2015). Plant growth regulator (principles and application). Mashhad Jahadeh Daneshgahi Press. (In Persian)
- Fabriki-Ourang, S., and Shahabzadeh, H. (2019). The effect of abiotic elicitors on antioxidants and phytochemical traits of celandine (*Chelidonium majus*) under drought stress. Iranian Journal of Field Crop Science, 50(1), 139-150.
- Fuentes, D., Disante, K.B., Valdecantos, A., Cortina, J., Vallejo, V.R. (2006). Response of *Pinus halepensis* Mill. seedlings to biosolids enriched with Cu, Ni and Zn in three mediterranean forest soils. Environmental Pollution, 145 (1): 316-323.
- Ghafari, H., Tadayon, M. R., and Razmjoo, J. (2018). The role of salicylic acid and proline treatment on induction of antioxidant enzyme activities and salt tolerance responses of soybean (*Glycine max* L.). Environmental Stresses in Crop Sciences, 11(3), 691-705.
- Ghasemi, Z. and Shahabi, A. A., (2010). Effect of cadmium on the physiological indices, growth characteristics and nutrient element concentration in tomato (*Lycopersicon esculentum* mill.) in soil culture, Ms Thesis, Isfahan University of Technology. (In Persian).
- Hamada, A. M. (2000). Amelioration of drought stress by ascorbic acid, thiamin and aspirin in wheat plants. Indian Journal of Plant Physiology, 5: 358-364.
- Hasanvand, A., Fahmideh, L. and Bidarnamani, F. 2022. Evaluating the foliar application of salicylic acid and iron nano chelate on some biochemical and morpho-physiological

- properties of Aromatic violet (*Viola odorata* L.). Journal of Plant Environmental Physiology, 65(2): 141-162.
- Hayat, Q., Hayata, S. H., Irfan, M. and Ahmad, A. (2010). Effect of exogenous salicylic acid under changing environment review. Environmental and Experimental Botany, 68:14-25.
- Heckathorn, S. A., Mueller, J. K., LaGuidice, S., Zhu, B., Barrett, T., Blair, B. and Dong, A. (2004). Chloroplast small heat-shock proteins protect photosynthesis during heavy metal stress. American Journal of Botany, 91: 1312-1318.
- Heydarian, A., Tohidi Moghadam, H. R. and Kasraie, P. (2017). Effect of Glomus intraradices fungus on quantitative, qualitative traits of wheat under nickel stress. Iranian Journal of Field Crop Science, 48(3):685-693.
- Khatib, M., Rashed mohasel, M.H., Ganjali, A. and Lahooti, M. (2008). The Effect of different concentration of Ni on morphological properies of *Petroselenium crispum*, Iranian Journal of Crop Research, 6(2): 295-302.
- Korkmaz, A., Uzunlu, M. and Demirkairan, A. R. (2007). Treatment with acetylsalicylic acid protects muskmelon seedlings against drought stress. Acta Physiologia Plantarum, 29, 503-508.
- Liamas, A., Ullrich, C.I. and Sanz, A. (2008). Ni²⁺ toxicity in rice: Effect on membrane functionality and plant water content. – Plant Physiology and Biochemistry, 46: 905-910.
- Lozak, A. and Solytk, K. (2002). Determination of selected trace elements in herbs and their influence. Science Environment, 289:33-40.
- Messina, V. (2014). Nutritional and health benefits of dried beans. American Society for Nutrition. American Journal of Clinical Nutrition, 437-442.
- Muhammad, Z. and Hussain, F. (2010). Vegetative growth performance of five medicinal plants under NaCl salt stress. Pakistan Journal of Botany, 42(1): 303-316.
- Neisi, A., Vosoughi, M., Mohammadi, M. J., Mohammadi, B., Naeimabadi, A., and Hashemzadeh, B. (2014). Phytoremediation of by Helianthus plant. Journal of Torbat Heydariyeh University of Medical Sciences. 55-65.
- Noorani Azad, H. and Kafilzadeh, F. (2011). The effect of cadmium toxicity on growth, Nutrient deficiency and physiological disease of 1970 lowland rice in Ceylon. Soil Science and Plant Nutrition, 16: 11-23.
- Noreen, S., Ashraf, M., Hussain, M. and Jamil, A. (2009). Exogenous application of salicylic acid enhances antioxidative capacity in salt stressed sunflower (*Helianthus annuus* L.) plant. Pakistan Journal of Botany, 41(1):473.
- Norouzi, M., Sajedi, N. A. and Gomarian, M. G. (2018). Effects of salicylic acid and selenium at growth stages on yield and yield components of chick pea (*Cicer arietinum* L.) under dryland farming condition. Environmental Stresses in Crop Sciences, 11(3):579-589.
- Pakdaman, N., Ghaderian, S. M., Ghasemi, R. and Asemaneh, T. 2013. Effects of calcium/magnesium quotients and nickel in the growth medium on growth and nickel accumulation in *Pistacia atlantica*. Journal of Plant Nutrition, 36, 1708-1718.
- Peralta-Videa, J. R., Gardea-Torresdey, J. L., Gomez, E., Tiemann, K. J., Parsons, J. G., Carrillo, G. (2002). Effect of mixed cadmium copper, nickel and zinc at different pHs upon alfalfa growth and heavy metal uptake. Environmental Pollution, 119: 291-301.
- Pourakbar, L. and Ebrahimzade, N. (2014). Growth and physiological responses of *Zea mays* L. to Cu and Ni stress. Applied Field Crops Research, 27(103):147-159.
- Prasad M.N.V. and Freitas, H. (2003). Metal hyper accumulation in Plants-Biodiversity prospecting for phytoremediation technology. Electronic Journal of Biototechnology, 6: 275-321.
- Rahimi Moghaddam, S. (2018). Phytoremediation ability of nickel-contaminated soil using Sunflower (*Helianthus annuus* L.) and Sorghum (*Sorghum bicolor* L.). Journal of Soil Management and Sustainable Production, 6(4):131-142.
- Ramezannezhad, R., Lahouti, N. and Ganjali, A. (2013). Effect of salicylic acid on physiological and biochemical parameters on resistant and sensitive chickpea (*Cicer*

- arietinum* L.) genotypes under drought stress. Journal of Plant Ecophysiology, 5(12):24-36. (In Persian)
- Rashid Shomali, A., Khodaverdiloo, H. and Samadi, A. (2012). Accumulation and tolerance to soil cadmium by *Pennisetum glausum*, *Chnopodium album*, *Portulaca oleracea* and *Descurainia Sophia*. Iranian Journal of Soil Management and Sustainable Agriculture 2(1): 45-62.
- Schonfeld, M.A., Johnson, R.C., Carver, B.F. and Mornhinweg, D.W. (1988). Water relation in winter wheat as drought resistance indicators. Crop Science, 28: 526-531.
- Seregin, I.V. and Kozhevnikova, A.D. (2006). Physiological role of nickel and its toxic effects on higher plants. Russian Journal of Plant Physiology, 53: 257-277.
- Seyed Hajizadeh, H. and Aliloo, A.A. (2013). The effectiveness of pre-harvest salicylic acid application on physiological traits in *Lilium* (*Lilium longiflorum* L.) cut flower. International Journal of Scientific Research in Environmental Sciences, 1(12): 344-350.
- Sheng Zhou, Z., Guo, K., Abdou Elbaz, A. and Min Yang, Z. (2009). Salicylic acid alleviates mercury toxicity by preventing oxidative stress in roots of *Medicago sativa*. Environmental and Experimental Botany, 65(1): 27-34.
- Singh, B. and Usha, K. (2003). Salicylic acid induced physiological and biochemical changes in wheat seedlings under water stress. Journal of Plant Growth Regulation, 39: 137-141.
- Singh, H.P. and Kaur, G. (2012). Growth, photosynthetic activity and oxidative stress in wheat after exposure of lead to *Triticum aestivum* soil. Journal of Environmental Biology, 33:265-269.
- Tagharobiyan, M., Poozesh, V. and Khorshidi, M. (2016). Influence of nickel on the indices of growth and content of photosynthetic pigments, protein, soluble sugar, proline and nickel accumulation in coriander. Applied Research of Plant Ecophysiology, (2) :59-74
- Vicente, M.R. and Plasencia, J. (2011). Salicylic acid beyond defence: Its role in plant growth and development. Journal of Experimental Botany, 62: 3321-3338.
- Wang, S. T., He, X. J. and An, R. D. (2010). Responses of growth and antioxidant metabolism to nickel toxicity in *Luffa cylindrica* seedlings. Animal and Plant Sciences, 7(2): 810- 821.
- Wo-Niak, K. and Basika, J. (2003). Free radicals-mediated induction of oxidized DNA-bases and DNA protein cross-links by nickel chloride. Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis, 514: 233-243.
- Yusuf, M., Fariduddin, Q., Hayat, S. and Ahmad, A. (2011). Nickel: An Overview of Uptake, Essentiality and Toxicity in Plants. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 86:1-17.