



19th Iranian Soil Science Congress
16-18 September, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۲۵ تا ۲۷ شهریور ۱۴۰۴



مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



تأثیر سطوح مختلف گلومالین بر فسفر محلول و فراهم یک خاک آهکی

ریحانه سجادی^{۱*}، اکرم حلاج نیا^۲، امیر لکزیان^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

(rayhanesajadi@yahoo.com)

۲ و ۳- به ترتیب دانشیار و استاد، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

چکیده

اخیراً استفاده از ترکیبات آلی و زیستی به عنوان یک راهکار نوین برای افزایش کارایی جذب فسفر مورد توجه قرار گرفته است. این پژوهش به منظور بررسی اثر سطوح مختلف گلومالین بر فسفر فراهم و محلول خاک انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل سطوح مختلف گلومالین (۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم) و دو سطح فسفر (صفر و ۲۰ میلی گرم بر کیلوگرم فسفر از منبع فسفات کلسیم) بودند. نتایج نشان داد که اثر ساده سطوح گلومالین بر غلظت فسفر فراهم و محلول در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود، در حالی که اثر ساده فسفر و اثر متقابل آن با گلومالین معنی دار نبود. با افزایش غلظت گلومالین، مقدار فسفر محلول به طور معنی داری کاهش یافت. در تیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم به ترتیب بکاهش ۲۱ و ۳۳ درصدی مشاهده شد. در مقابل، غلظت فسفر فراهم با افزایش سطح گلومالین به طور معنی داری به ترتیب به مقدار ۱۱۵/۱۷ و ۱۶۴/۰۷ درصد افزایش یافت. به عبارت دیگر کاربرد گلومالین اگرچه مقدار شکل محلول فسفر را کاهش داد اما به طور مؤثری باعث افزایش فسفر فراهم شد. به نظر می رسد کاربرد گلومالین می تواند به عنوان یک راهکار زیستی مؤثر برای بهبود فراهمی فسفر در خاک و افزایش کارایی کودهای فسفر مورد استفاده قرار گیرد.

کلمات کلیدی: فسفر اولسن، مایکوریزا، گلیکوپروتئین، فسفر محلول

مقدمه

فسفر یکی از عناصر ضروری برای رشد گیاهان است اما در بسیاری از خاکها بخش عمده ای از فسفر به شکل غیر قابل استفاده برای گیاهان وجود دارد. فسفر می تواند به دلیل واکنش با دیگر عناصر مانند کلسیم، آهن و آلومینیوم در خاک رسوب کند و از دسترس خارج شود. برای بهینه سازی جذب فسفر در خاک، توجه به نوع خاک، پی اچ و مدیریت مناسب مواد آلی ضروری است. گلومالین یک گلیکوپروتئین آب گریز، مقاوم در برابر حرارت و مقاوم است که توسط قارچ های مایکوریزا تولید شده و نقش مهمی در پایداری خاک و قابلیت جذب عناصر غذایی از جمله فسفر دارد (Wright and Upadhyaya 1996). این ترکیب در نهایت از هیف جدا شده و وارد خاک می شود (Wright and Upadhyaya 1996). گلومالین محتوی عنصر مانند C، H، O، N، P، K، Si، Mg، Ca، Fe و غیره است. علاوه بر این، گلومالین حاوی چندین گروه عاملی از جمله کربوهیدراتها (۳-۶٪)، پروتئینها (۳۰-۴۰٪) و گروه های آلیفاتیک (۲۰-۷۰٪) است. وجود گلومالین در خاک به دلیل نقش آن در تقویت تشکیل خاکدانه های خاک، حفظ پایداری خاکدانه های خاک، افزایش ذخیره کربن آلی خاک (SOC)، بهبود تحمل گیاه و کاهش سمیت فلزات سنگین در خاک، توجه زیادی را به خود جلب کرده است. از سوی دیگر گلومالین به سطح خاکدانه های خاک متصل می شود و آب گریزی آن باعث کاهش از دست دادن آب در خاکدانه ها می شود که این امر به حفظ آب در خاک کمک می کند (Lei et al. 2023).

خاک های قلیایی در نواحی خشک اغلب دارای مواد مغذی کم برای رشد گیاه هستند. گلومالین توانایی تشکیل کمپلکس با عناصر غذایی خاک مانند فسفر را دارد و در نتیجه دسترسی آن ها را با توجه به شرایط اکولوژیکی خاک افزایش می دهد. نه تنها



19th Iranian Soil Science Congress
16-18 September, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۲۵ تا ۲۷ شهریور ۱۴۰۴



مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



جذب فسفر با کلونیزاسیون ریشه‌های گیاه توسط قارچ‌های مایکوریزا افزایش می‌یابد، بلکه جذب سایر عناصر ماکرو و ریزمغذی نیز افزایش یافته است (Emran et al. 2017).

از طرف دیگر شواهدی وجود دارد که گلومالین می‌تواند جذب روی و منگنز (Mn) را در غلظت‌های سمی در خاک مهار کند و در نتیجه اثرات نامطلوب آن بر میزان را کاهش دهد (Lei et al. 2023). علاوه بر این گلومالین در خاک بر روی ریزمغذی‌های خاک (آهن، مس) و فلزات بالقوه سمی Ni، Co، Pb، Cd، Cr نیز تاثیر می‌گذارد (Lei et al. 2023). در نتیجه، گلومالین می‌تواند به عنوان یک ماده موثر زیستی برای مدیریت کشاورزی پایدار برای کمک به مدیریت پایدار عناصر غذایی خاک استفاده شود. همچنین می‌توان از آن در گیاه‌پالایی برای بازیابی فلزات سمی در خاک‌های آلوده استفاده کرد (Emran et al. 2017).

مواد و روش‌ها

یک نمونه خاک از خاک‌های حاصلخیز که سابقه کشت بویژه کشت گیاهانی که همزیستی خوبی با مایکوریزا برقرار می‌کنند جهت استخراج گلومالین و یک نمونه خاک با حاصلخیزی پایین و عدم سابقه دریافت کود فسفر برای آزمایش آنکوباسیون برداشت شد. ویژگی‌های مورد نیاز خاک برای آزمایش آنکوباسیون از قبیل بافت، pH، EC، مقدار فسفر فراهم، کربن آلی و کربنات کلسیم معادل به روش‌های معمول تعیین گردید. گلومالین از خاک حاصلخیز با استفاده از سیترات سدیم ۵۰ میلی مولار در پی اچ ۷٫۸۱ در دمای بالا (۱۲۱ درجه سانتی‌گراد) استخراج شد (Wright and Upadhyaya 1996).

برای بررسی تاثیر گلومالین بر فراهمی فسفر و مقدار فسفر محلول آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی بر روی یک خاک آهکی در شرایط آزمایشگاهی انجام گردید. فاکتورهای آزمایش عبارت بودند از دو سطح فسفر (بدون کود و ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم فسفر) و سه سطح غلظت گلومالین (صفر، ۵۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) که در سه تکرار انجام شد. خاک در ظروف پلاستیکی به میزان ۱۰۰ گرم وزن شد و فسفات کلسیم لازم برای تامین ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم فسفر به همراه آب آبیاری و مقادیر مختلف گلومالین به صورت جامد به خاک اضافه شد. در طول مدت آنکوباسیون نیز رطوبت ظروف در حد ظرفیت زراعی از طریق وزن کردن نگهداری شد.

بعد از گذشت ۱۵ روز در تیمارهای آزمایشی فسفر قابل دسترس به روش اولسن (Olsen 1954) تعیین گردید. برای اندازه‌گیری فسفر محلول از روش هدلی و همکاران (Hedley, Stewart, and Chauhan 1982) استفاده گردید به این صورت که نیم گرم خاک را وزن و ۱۵ میلی‌لیتر آب مقطر به آن اضافه کرده و به مدت ۱۶ ساعت شیک و سپس سانتریفیوژ شد. فسفر در عصاره‌ها با روش رنگ‌سنجی آبی مولیبدن (مولیبدات-آسکوربیک اسید) اندازه‌گیری شد (Murphy and Riley 1962).

نتایج و بحث

خاک مورد آزمایش یک خاک آهکی غیر شور (کربنات کلسیم معادل ۱۵ درصد) بود. pH و هدایت الکتریکی به ترتیب برابر ۷/۸۷ در گل اشباع و ۱/۷۳ در عصاره گل اشباع، بافت خاک Loam، درصد کربن آلی ۰/۳۷ و مقدار فسفر فراهم ۲/۱۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری شد. براساس نتایج تجزیه واریانس تنها اثر ساده سطوح گلومالین بر دو پارامتر فسفر قابل دسترس و فسفر محلول در سطح یک درصد معنی‌دار بود. این در حالی بود که اثر ساده سطوح فسفر و اثر متقابل سطوح گلومالین و فسفر اثر معنی‌داری بر این دو پارامتر نداشت (جدول ۱).

جدول ۱ نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایشی بر غلظت فسفر قابل دسترس و محلول

منابع تغییرات	درجه آزادی	فسفر قابل دسترس	فسفر قابل محلول
سطح گلومالین	۲	۱۸۹۵/۲۷**	۳۹/۰۰۷**
میانگین مربعات			



19th Iranian Soil Science Congress
16-18 September, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۲۵ تا ۲۷ شهریور ۱۴۰۴



مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

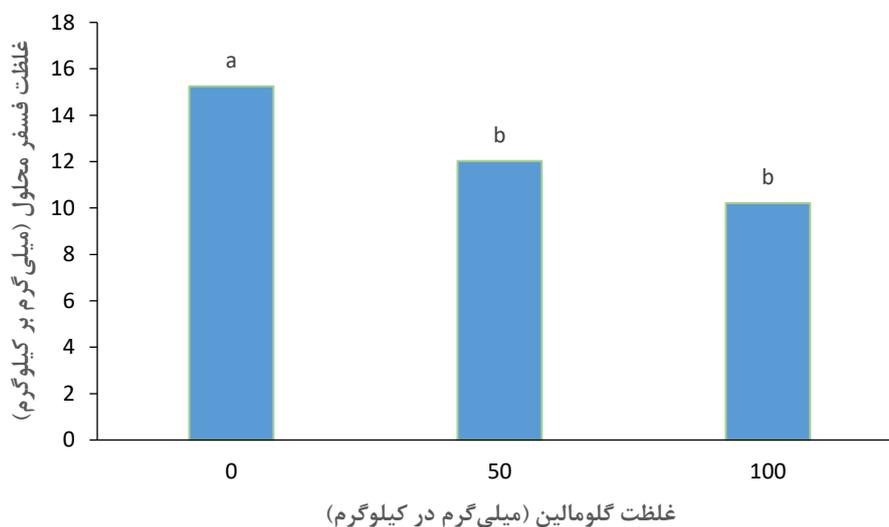
College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



۰/۶۸۵ ^{NS}	۱۵/۶۵ ^{NS}	۱	سطح فسفر
۰/۸۲۸ ^{NS}	۰/۲۶۸ ^{NS}	۲	گلومالین * فسفر
۳/۱۹۵	۱۱/۰۸۶	۱۲	خطا
		۱۷	کل

NS و ** به ترتیب نشان دهنده عدم معنی داری و معنی داری در سطح یک درصد می باشند.

نتایج نشان داد که افزایش غلظت گلومالین باعث کاهش فسفر محلول شد. این کاهش بدین صورت بوده که در سطح ۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم گلومالین موجب کاهش ۲۱ درصدی فسفر محلول و سطح گلومالین ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم موجب کاهش ۳۳ درصدی فسفر محلول شد (شکل ۱).



شکل ۱- نتایج مقایسه میانگین اثر ساده سطوح گلومالین بر غلظت فسفر محلول در آب

نتایج نشان داد که بر خلاف فسفر محلول، افزایش غلظت گلومالین باعث افزایش فسفر قابل دسترس شد. این افزایش در سطح ۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم گلومالین ۱۱۵/۱۷ درصد و در سطح ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم گلومالین موجب ۱۶۴/۰۷ درصد بود (شکل ۲). در مطالعه دیگری نیز تاثیر گلومالین بررسی و نتایج نشان داد که گلومالین به تنهایی یا در ترکیب با دیگر مدیریت های زراعی (کوددهی آبیاری و...) میزان فسفر قابل دسترس خاک را ۱۳۳/۷۵ درصد افزایش داد (Lei et al. 2023). در مطالعه ای دیگری سطوح مختلف گلومالین باعث افزایش سه نوع آنزیم فسفاتاز خنثی، اسیدی و قلیایی شد که می تواند سبب افزایش غلظت فسفر در خاک شود (Liu et al. 2021).

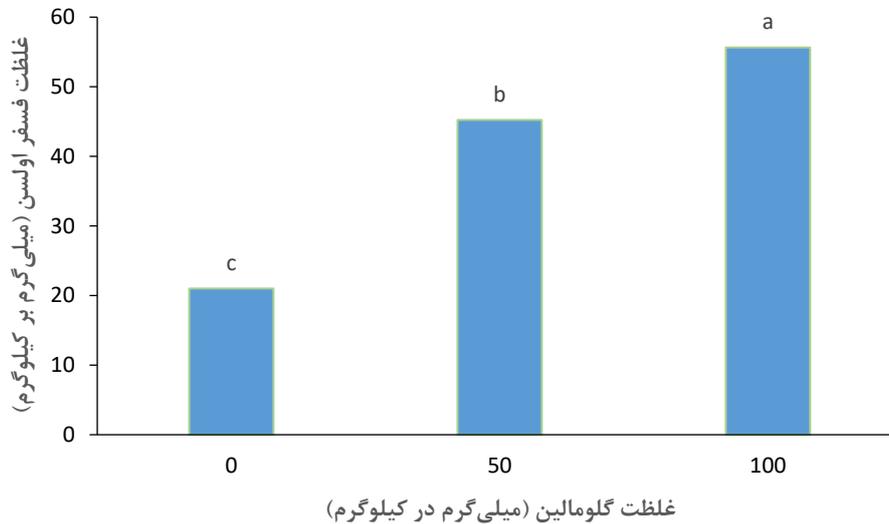


مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



شکل ۲- نتایج مقایسه میانگین اثر ساده سطوح گلومالین بر غلظت فسفر قابل دسترس

کاهش فسفر محلول: فسفر محلول، فرم بسیار متحرک و در عین حال مستعد تثبیت و شستشو است. این فرم می‌تواند به سرعت با کاتیون‌هایی مانند کلسیم (Ca) در خاک‌های قلیایی یا آلومینیوم (Al) و آهن (Fe) در خاک‌های اسیدی ترکیب شده و به فرم‌های غیرمحلول و غیرقابل جذب (تثبیت شده) تبدیل شود (Zheng et al. 2024). به نظر می‌رسد گلومالین با تشکیل کمپلکس یا پوشش دادن فسفر محلول، مانع از رسوب یا آبشویی آن شود. در واقع، آن را از حالت "آزاد" و "مستعد هدررفت" خارج می‌کند. می‌توان گفت این اولین قدم برای محافظت از فسفر است.

فسفر قابل دسترس شامل اشکالی از فسفر است به راحتی و در کوتاه‌مدت در اختیار ریشه گیاه قرار می‌گیرند. گلومالین، که یک ترکیب پلی‌ساکاریدی است، می‌تواند به عنوان یک ماده آلی کمپلکس‌کننده عمل کند و با تشکیل پل بین ذرات خاک، در خاکدانه سازی موثر باشد (Zheng et al. 2024). این کار باعث می‌شود فسفرهای تثبیت شده (غیرمحلول) در معرض ریشه و ترشحات آن قرار بگیرند. مهم‌تر از همه اینکه گلومالین می‌تواند فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز را به طور چشمگیری افزایش دهد (Zheng et al. 2024). این آنزیم‌ها توسط ریشه گیاه و میکروارگانیسم‌ها ترشح می‌شوند و وظیفه آن‌ها تبدیل ترکیبات آلی فسفر به اشکال معدنی و قابل جذب است. بنابراین گلومالین با تحریک این آنزیم‌ها، فسفر را از فرم آلی به معدنی و قابل جذب تبدیل می‌کند و این امر می‌تواند موجب افزایش فراهمی فسفر شود.

نتیجه‌گیری

بر پایه یافته‌های این پژوهش، کاربرد گلومالین به عنوان یک محرک زیستی، تأثیر قابل توجهی بر پویایی فسفر در خاک داشت. اگرچه افزایش سطوح گلومالین منجر به کاهش غلظت فسفر محلول در آب شد، اما این کاهش به معنای کاهش فراهمی فسفر نبود، بلکه نشان‌دهنده تغییر شکل و خروج آن از چرخه سریع آبشویی و تثبیت است. در مقابل، افزایش معنادار غلظت فسفر قابل دسترس خاک در پاسخ به سطوح بالاتر گلومالین، گویای نقش کلیدی این ترکیب در فعال‌سازی مکانیسم‌هایی نظیر تحریک فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز و احتمالاً تشکیل کمپلکس‌های پایدار است که در نهایت به رهاسازی فسفر از اشکال تثبیت شده و افزایش قابلیت جذب آن برای گیاه می‌انجامد. به طور خلاصه، می‌توان استدلال کرد که گلومالین با تعدیل اشکال مختلف فسفر



19th Iranian Soil Science Congress
16-18 September, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۱۴۰۴ شهریور ۲۷ تا ۲۵



مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



در خاک، آن را از حالت مستعد هدررفت به حالت پایدار و در عین حال قابل جذب برای گیاه تبدیل می‌کند. بنابراین، استفاده از گلومالین می‌تواند به عنوان یک راهبرد مؤثر و زیستی در مدیریت تغذیه فسفر و بهبود کارایی کودهای فسفوری در راستای کشاورزی پایدار توصیه شود. مطالعات آینده می‌تواند بر روی شناسایی دقیق‌تر مکانیسم‌های مولکولی عمل گلومالین و همچنین تأثیر همزمان آن بر جذب فسفر توسط گیاه متمرکز شود.

منابع

- Emran, Mohamed, Mohamed Rashad, Maria Gispert, and Giovanni Pardini. 2017. "Increasing Soil Nutrients Availability and Sustainability by Glomalin in Alkaline Soils." *Int. J. Agric. Biosyst. Eng* 2:74–84.
- Hedley, M. Ji, J. W. B. Stewart, and Bs S. Chauhan. 1982. "Changes in Inorganic and Organic Soil Phosphorus Fractions Induced by Cultivation Practices and by Laboratory Incubations." *Soil Science Society of America Journal* 46(5):970–76.
- Lei, An-Qi, Qing-Hua Yang, Ying Zhang, Wen-Yue Liao, Ya-Chao Xie, Anoop Kumar Srivastava, Abeer Hashem, Mashael Daghash Alqahtani, Elsayed Fathi Abd_Allah, and Qiang-Sheng Wu. 2023. "Agronomic Practices Alter Regulated Effects of Easily Extractable Glomalin-Related Soil Protein on Fruit Quality and Soil Properties of Satsuma Mandarin." *Agronomy* 13(3):881.
- Liu, Rui-Cheng, Ying-Ning Zou, Kamil Kuča, Abeer Hashem, Elsayed Fathi Abd_Allah, and Qiang-Sheng Wu. 2021. "Exogenous Glomalin-Related Soil Proteins Differentially Regulate Soil Properties in Trifoliolate Orange." *Agronomy* 11(10):1896.
- Murphy, JAMES, and John P. Riley. 1962. "A Modified Single Solution Method for the Determination of Phosphate in Natural Waters." *Analytica Chimica Acta* 27:31–36.
- Olsen, Sterling Robertson. 1954. Estimation of Available Phosphorus in Soils by Extraction with Sodium Bicarbonate. US Department of Agriculture.
- Wright, Sara F., and Abha Upadhyaya. 1996. "Extraction of an Abundant and Unusual Protein from Soil and Comparison with Hyphal Protein of Arbuscular Mycorrhizal Fungi." *Soil Science* 161(9):575–86.
- Zheng, Feng-Ling, Qiu-Shuang Li, Ying-Ning Zou, and Qiang-Sheng Wu. 2024. "A Causal Evidence Regarding Improved Soil Traits in Citrus by Addition of Purified Glomalin-Related Soil Protein." *Scientia Horticulturae* 328:112934.

The effect of different levels of glomalin on available and soluble phosphorus in a calcareous soil

R. Sajadi*¹, A. Halajnia¹, A. Lakzian¹

1- Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

*Corresponding Author Email: rayhanesajadi@yahoo.com

Abstract

Recently, the use of organic and biological compounds has been considered as a new strategy to increase the efficiency of phosphorus uptake. This study was conducted to investigate the effect of different levels of glomalin on soil available and soluble phosphorus. The experimental treatments included different levels of glomalin (0, 50, and 100 mg/kg) and two levels of phosphorus (0 and 20 mg/kg phosphorus from calcium phosphate source). The results showed that the main effect of glomalin levels on soil available and soluble phosphorus concentrations was significant at the 1% probability level, while the main effect of phosphorus and its interaction with glomalin were not significant. With increasing glomalin concentration, the amount of soluble phosphorus decreased significantly. In the 50 and 100 mg/kg treatments, a decrease of 21 and 33% was observed, respectively. In contrast, the concentration of available phosphorus increased significantly with increasing glomalin levels to 115.17 and 164.07 percent, respectively. In other words, although glomalin application reduced the amount of soluble phosphorus, it effectively increased available phosphorus. It seems that glomalin application can be used



19th Iranian Soil Science Congress
16-18 September, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۲۵ تا ۲۷ شهریور ۱۴۰۴



مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



as an effective biological strategy to improve the soil phosphorus availability and increase the efficiency of phosphorus fertilizers.

Keywords: Olsen phosphorus, Mycorrhiza, Glycoprotein, Soluble phosphorus