



19<sup>th</sup> 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

دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



## تأثیر منابع مختلف فسفر و هیومیک اسید بر قابلیت استفاده فسفر خاک

فاطمه مرادی<sup>۱\*</sup>، رضا محمدی<sup>۲</sup>، آرتین لطیفی<sup>۳</sup>، امیرحسین خوش گفتارمنش<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری گروه علوم خاک دانشگاه صنعتی اصفهان؛ fmoradi@ag.iut.ac.ir

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی اصفهان؛

۳- استاد گروه علوم خاک دانشگاه صنعتی اصفهان؛ amirhkhosh@iut.ac.ir

### چکیده

فسفر از جمله عناصر مهم و حیاتی در تغذیه گیاه و تولید محصول است. با توجه به چالش‌های موجود در تولید منابع کودی فسفر از یکسو و کارایی کم کودهای فسفر (عمدتاً به دلیل تثبیت آن در خاک) از سوی دیگر، یافتن راهکاری به منظور افزایش کارایی مصرف این کودها و کاهش هزینه‌های مربوط به کوددهی ضروری است. در این پژوهش سه منبع کودی فسفر شامل فسفریک اسید، اوره فسفات و مونوپتاسیم فسفات در حضور یا عدم حضور هیومیک اسید از لحاظ تأثیر بر قابلیت استفاده فسفر خاک سطحی و زیرسطحی مقایسه شد. اوره فسفات در خاک‌های مورد مطالعه (با pH کلیایی و درصد بالای آهک)، فسفر قابل جذب خاک سطحی و زیرسطحی را بیشتر از سایر کودها افزایش داد. کاربرد هیومیک اسید همراه فسفریک اسید و مونوپتاسیم فسفات به افزایش قابلیت استفاده فسفر خاک کمک کرد اما در مورد اوره فسفات، کاربرد هیومیک اسید تأثیر منفی بر مقدار فسفر قابل استفاده خاک داشت. براساس نتایج، کارایی کودهای فسفر اسیدی در افزایش مخزن فسفر قابل استفاده خاک سطحی و زیرسطحی بیشتر از کود مونوپتاسیم فسفات است. کاربرد هیومیک اسید بسته به نوع کود فسفره مصرفی سبب افزایش یا کارایی کود فسفره می‌شود. نتایج این پژوهش هم از جهت بهبود مدیریت کوددهی و هم از جهت تولید کودهای فسفره مناسب خاکهای آهکی کاربرد دارد.

**واژگان کلیدی:** اوره فسفات، فسفر قابل جذب، فسفریک اسید، مونوپتاسیم فسفات، هیومیک اسید

### مقدمه

فسفر یکی از عناصر کلیدی مورد نیاز گیاه و موثر در باروری محصول است. اگرچه مقدار نیاز گیاه به فسفر نسبت به نیتروژن و پتاسیم کمتر است، اما بعد از نیتروژن، کودهای فسفر، مصرف زیادی دارند و در بسیاری موارد، استفاده نادرست و بیش از اندازه از این منابع کودی، باعث ایجاد آلودگی‌های زیست محیطی شده است (George et al, 2016). غالب کودهای فسفره‌ی مورد استفاده برای تولید محصول، به دلیل تثبیت در خاک، به واسطه فرایندهای جذب یا رسوب با کلسیم، آهن و اکسیدهای آلومینیوم (Ca-P و Al/Fe-P) بسته به pH و یا شرایط رداکس خاک، از دسترس گیاه خارج می‌شود (Zhang et al, 2022). فسفر تثبیت شده در خاک، می‌تواند در اثر ایجاد تغییراتی در خصوصیات خاک، به شکل پویا تبدیل شود و در دسترس گیاهان قرار بگیرد. بنابراین اطلاع از تحولات و جا به جایی‌های فسفر در خاک، تحت روش‌های معمول مدیریتی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. استفاده از کودهای معدنی و آلی، یک راهکار مناسب برای بهبود عملکرد محصول و بازیافت مواد در کشاورزی است (Zhang et al, 2022). اشکال فسفر در خاک به شدت به خصوصیات خاک از جمله pH، مقدار کربن آلی، کربنات کلسیم و اکسیدهای آهن و آلومینیوم بستگی دارد که مستقیم یا غیر مستقیم بر حلالیت و تحرک فسفر در خاک تأثیر می‌گذارند. به عنوان مثال،



19<sup>th</sup> Iranian Soil Science Congress  
16-18 September, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران  
۲۵ تا ۲۷ شهریور ۱۴۰۴



۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



pH، به واسطه‌ی اثر بر ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، تغییر حلالیت کانی‌های ثانویه آهن-فسفر، آلومینیوم-فسفر و کلسیم-فسفر در خاک و اثر بر معدنی شدن فسفر آلی، نقشی کلیدی در تثبیت و جذب فسفر در سطح ذرات خاک دارد (Yan et al, 2016). فسفر برای بسیاری از فرایندهای بیوشیمیایی در گیاهان ضروری و به ویژه برای اکوسیستم های زراعی، حیاتی است. دسترسی به ذخایر جغرافیایی سنگ فسفات، به لحاظ سیاسی حساس و به لحاظ اقتصادی با چالش‌هایی مواجه است. به عبارتی منابع فسفر در دنیا نامحدود نیست و تولید تجاری آن، هزینه‌بر است. دسترسی زیستی کود فسفات، از طریق فرایندهای جذب و تشکیل کمپلکس آلی در خاک کاهش می‌یابد. بنابراین اعمال مقادیر بیشتری کودهای فسفات برای تامین نیاز فسفر گیاهان، به منظور جلوگیری از کمبود فسفر مورد نیاز برای گیاه صورت می‌گیرد؛ چراکه بخشی از کود فسفات‌های اضافه شده به خاک، به این طریق تثبیت شده و از دسترس گیاه خارج می‌شود (George et al, 2016). بنابراین یافتن راهکارهای مدیریتی به منظور کاهش تثبیت فسفر و افزایش کارایی کودهای فسفره به خصوص در اراضی زراعی اهمیت بالایی برخوردار است.

در خاک‌های زراعی کشور، به دلیل آهکی بودن، بالا بودن pH و غلظت بالای کلسیم محلول خاک، قابلیت جذب فسفر کودی کم است. در این خاک‌ها، رسوب یا جذب سطحی فسفر، موجب کاهش کارایی کودهای فسفره در خاک می‌شود. بنابراین یافتن راهکارهای کاهش تثبیت فسفر افزوده شده به خاک از طریق کود و افزایش بهره‌وری کوددهی اهمیت زیادی دارد.

دو عامل در افزایش قابلیت جذب فسفر در خاک‌های آهکی اهمیت زیادی دارد: اول کاهش pH با استفاده از ترکیبات اصلاحی و دوم افزایش ترکیبات آلی. ضمن این که نوع منبع کود فسفر هم در قابلیت جذب فسفر تاثیر دارد. در این پژوهش، قابلیت جذب فسفر در دو خاک، با استفاده از سه منبع کود فسفره شامل فسفریک اسید، مونوپتاسیم فسفات و اوره فسفات در حضور یا عدم حضور هیومیک اسید بررسی شده است. به منظور ارزیابی تأثیر تیمارهای مختلف بر پویایی فسفر خاک، فسفر قابل جذب خاک در دو عمق سطحی و زیرسطحی اندازه‌گیری شد.

### مواد و روش‌ها

ابتدا دو نمونه خاک با ویژگی‌های مختلف از دو مکان مختلف با سابقه کاشت و کاربری مختلف تهیه شد، یک نمونه از یک باغ سیب با سابقه مصرف مقادیر زیاد کود دامی و مواد آلی (A)، و یک نمونه از مزرعه تحقیقاتی چاه اناری دانشگاه صنعتی اصفهان تحت کشت ذرت (B)، برداشت. پس از هوا خشک شدن، خاک‌ها از الک ۲ میلی‌متر عبور داده شد. سپس به هر یک از نمونه‌ها، مقادیر مشخصی از منابع کودی فسفر و هیومیک اسید (۸۰ کیلوگرم در هکتار) مطابق عرف مصرف کشاورزان، اضافه شد. کودهای فسفره و هیومیک اسید به صورت کود-آبیاری به خاک‌ها اضافه و پس از آن، نمونه‌ها به مدت ۴ هفته در انکوباتور با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری و رطوبت خاک‌ها به اندازه‌ی ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه حفظ شد. برخی مشخصات نمونه‌های خاک و کودهای مورد استفاده در جدول ۱ و مقادیر دقیق کود اضافه شده به هر یک از نمونه‌ها در جدول ۲، آورده شده است. برای تفکیک تأثیر کودهای فسفره از هیومیک اسید، یک گروه از نمونه‌های خاک فقط کودهای فسفره دریافت کرده و هیومیک اسید به آنها افزوده نشد. برای مشخص کردن تأثیر جداگانه هیومیک اسید نیز یک گروه دیگر از نمونه‌ها فقط هیومیک اسید دریافت کرده و کود فسفره به آنها افزوده نشد. طرح آماری مورد استفاده در این پژوهش، فاکتوریل سه فاکتوره در قالب طرح کاملاً تصادفی بود؛ با این



19<sup>th</sup> 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

دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



توضیح که نوع خاک، سه نوع منبع کودی فسفر و حضور و عدم حضور هیومیک اسید همراه با کودهای مورد استفاده، به عنوان سه فاکتور در نظر گرفته شد.

جدول ۱- مشخصات خاک و کودهای مورد استفاده در این پژوهش

نوع خاک	pH	EC (dS/m)	ماده آلی (%)	بافت خاک
باغ سیب (A)	۷/۳	۰/۷۶	۸/۶	رسی سیلتی
مزرعه ذرت (B)	درصد تغییرات فسفر قابل جذب	تغییرات فسفر قابل جذب در خاک	تغییرات فسفر قابل جذب کل	تغییرات کودی فسفری (kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha)
نوع کود	در خاک سطحی	زیر سطحی	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	
فسفریک اسید هیومیک اسید A(HA)	۱/۰ -۸/۹۰	۸۵ ۴/۱۴	-۴/۷۶	۸۲/۴۴
فسفریک اسید (HA) بافت	۷۲/۷/۳۶	۳۰۱۵۷/۴۶	۷۴۲۴/۸۲	۱۳۸/۹۶
فسفریک اسید A(-HA) مونونیتروژن فسفات	۵۶۲/۸۲ ۴/۹	۶۴/۹۲ ۶۵	۵۶۹۰/۷۳	۵۶/۵۲
اوره فسفات A(+HA)	۴۷۶۲/۹۱	۳۴۶/۶۹	۵۱۰۹/۵۹	۱۴۷/۲۴
هیومیک اسید	۹/۵	۰/۴۶		

جدول ۲- بررسی میزان تغییرات فسفر قابل جذب در خاک سطحی، زیر سطحی و کل



19<sup>th</sup> 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

دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



۶۴/۸	۵۴۴۹/۸۳	۷۴۰/۳۳	۴۷۰۹/۵۰	اوره فسفات (A(-HA)
۱۱۲/۱۰۴	۱۱۲/۴۵	۴/۱۴	۱۰۸/۳۱	مونوپتاسیم فسفات A(+HA)
۱۰۳۸/۶	۱۶/۲۷	-۲۰/۷۲	۴/۴۵	مونوپتاسیم فسفات A(-HA)
۸۲/۴۴	۱۱۴/۲۱	-۳۳/۱۳	۱۴۷/۳۴	هیومیک اسید B(HA)
۱۳۸/۹۶	۸۶۸۷/۵۴	۲۳۳/۴۳	۸۴۵۴/۱۱	فسفریک اسید B(+HA)
۵۶/۵۲	۶۶۴۶/۹۱	۵۲/۷۱	۶۵۹۴/۲۰	فسفریک اسید B(-HA)
۱۴۷/۲۴	۲۲۶۶۷/۸۴	۸۴۱۳/۲۵	۱۴۲۵۴/۵۹	اوره فسفات B(+HA)
۶۴/۸	۲۹۳۴۶/۴۳	۹۷۲۹/۵۲	۱۹۶۱۶/۹۱	اوره فسفات B(-HA)
۱۱۲/۱۰۴	۴۲۸/۶۳	۲۹۸/۱۹	۱۳۰/۴۳	مونوپتاسیم فسفات B(+HA)
۱۰۳۸/۶	۱۰۳۱/۱۰	۴۰/۶۶	۹۹۰/۳۴	مونوپتاسیم فسفات B(-HA)

## نتایج و بحث

براساس نتایج بدست آمده، تاثیر تیمارهای کودی فسفر بر مقدار فسفر قابل جذب لایه سطحی (شکل ۱) و زیرسطحی (شکل ۲) در دو خاک مورد مطالعه متفاوت بود. در خاک B، اوره فسفات در هردو تیمار همراه با هیومیک اسید و بدون هیومیک اسید، افزایش بیشتری در مقدار فسفر قابل جذب خاک در مقایسه با سایر تیمارها سبب شد (شکل ۱). در خاک A، کاربرد فسفریک اسید بدون هیومیک اسید سبب افزایش معنی‌دار فسفر قابل جذب خاک سطحی در مقایسه با همین تیمار بدون هیومیک اسید شد (شکل ۱). در خاک زیر سطحی، میزان فسفر قابل جذب در خاک B در تیمار اوره فسفات بدون هیومیک اسید افزایش معنی داری از لحاظ آماری نسبت به اوره فسفات همراه با هیومیک اسید نشان داد. به نظر می رسد استفاده از هیومیک اسید همزمان با اوره فسفات، به دلیل افزایش pH کود (جدول ۱)، سبب کاهش اثرگذاری اوره فسفات بر قابلیت استفاده فسفر خاک شده است یا به عبارت دیگر، کارایی کود به واسطه‌ی افزایش pH کاهش یافته است. همچنین تأثیر اوره فسفات و فسفریک اسید بر مقدار فسفر قابل جذب خاک سطحی و زیرسطحی به مراتب بیشتر از مونوپتاسیم فسفات بود. بنابراین، با توجه به pH قلیایی دو نمونه خاک مورد آزمایش، استفاده از کودهای فسفره با ماهیت اسیدی می تواند منجر به انحلال برخی کانی‌های خاک و آزاد شدن فسفر تثبیت شده توسط خاک شود. به نظر می رسد با توجه به مقادیر ماده آلی موجود در هر دو نمونه خاک، استفاده از هیومیک اسید به عنوان یک ماده‌ی اصلاحی که موجب افزایش ماده آلی نیز می شود، در خاک‌های مورد بررسی که خود تحت



19<sup>th</sup> Iranian Soil Science Congress  
16-18 September, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران  
۲۵ تا ۲۷ شهریور ۱۴۰۴



۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

### مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

### Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran

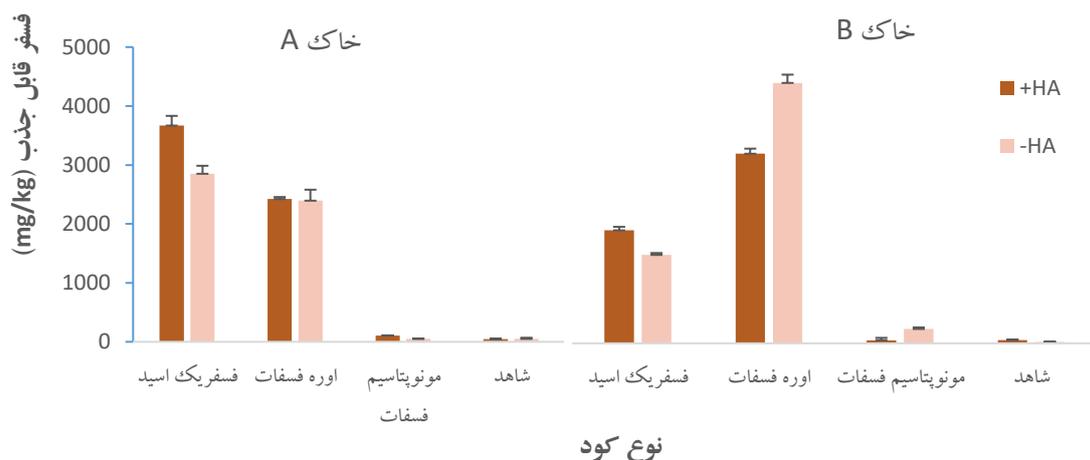


مدیریت های کوددهی بوده و ماده آلی زیادی دارند، اثر معنی‌داری بر قابلیت استفاده و پویایی فسفر ندارد (شکل ۲). جینگ و همکاران (۲۰۲۳)، اظهار داشتند که استفاده از کودهای فسفرهی حاوی ۰/۵ تا ۱۰ درصد هیومیک اسید، می‌تواند میزان جابه جایی و تحرک فسفر قابل جذب در خاک را نسبت به کودهای فسفرهی معمولی در فاصله ۰ تا ۵ میلی‌متر خاک، به میزان قابل توجهی از لحاظ آماری افزایش دهد (Jing et al, 2023).

همچنان که در جدول ۲ نشان داده شده است، در خاک A، مقدار فسفر قابل جذب در خاک سطحی، در تیمار فسفریک اسید همراه با هیومیک اسید، و در خاک زیرسطحی در تیمار اوره فسفات بدون هیومیک اسید، بیشترین افزایش را داشته است. با توجه به قیمت‌های تقریبی هر یک از کودهای مصرف شده و در نظر گرفتن مقدار کاربرد آنها (بر حسب کیلوگرم در هکتار) برای تأمین سطح مشخصی از فسفر، دو کود فسفریک اسید همراه با هیومیک اسید و اوره فسفات بدون هیومیک اسید، از لحاظ اقتصادی بیشترین صرفه را برای کشاورز خواهد داشت.

### نتیجه گیری

هدف این پژوهش بررسی تأثیر تیمارهای مختلف کودی فسفر بر پویایی فسفر در خاک و افزایش مقدار قابل جذب فسفر در عمق توسعه ریشه گیاهان بود، با توجه به تثبیت و غیرقابل دسترس شدن بخش اعظم فسفر اعمال شده توسط ذرات خاک در لایه سطحی، تیمارهایی که موجب افزایش میزان فسفر قابل جذب در خاک زیرسطحی شده‌اند، بیشتر مورد توجه هستند. در خاک B، در هر دو خاک سطحی و زیر سطحی، تیمارهای کودی اوره فسفات در دو وضعیت همراه با هیومیک اسید و بدون هیومیک اسید، بیشترین افزایش فسفر قابل جذب خاک را نشان دادند که این تیمارها به لحاظ قیمت کود نیز، دارای صرفه‌ی اقتصادی نسبت به سایر منابع کود فسفره می باشند. بنابراین، انتخاب کودهای با واکنش اسیدی نقش قابل توجهی در افزایش کارایی کوددهی فسفر دارد. تأثیر هیومیک اسید بر کارایی کودهای فسفره بسته به نوع کود متفاوت است. این نتایج هم در مدیریت مصرف کودهای فسفره و هم در تولید کودهای این عنصر برای خاک‌های آهکی اهمیت دارد.





19<sup>th</sup> 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

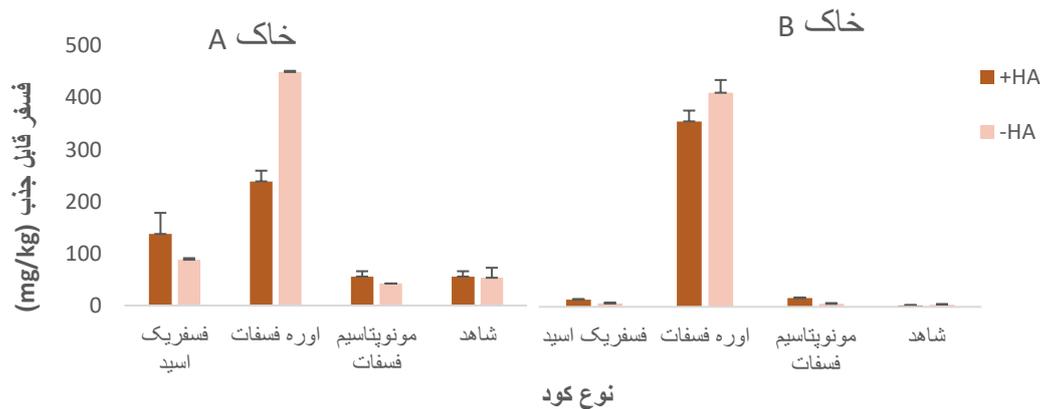
Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



شکل ۱- تأثیر نوع کود فسفر و کاربرد هیومیک اسید بر مقدار فسفر قابل جذب لایه سطحی دو خاک مورد مطالعه



شکل ۲- تأثیر نوع کود فسفر و کاربرد هیومیک اسید بر مقدار فسفر قابل جذب لایه زیرسطحی دو خاک مورد مطالعه

### فهرست منابع

- George Timothy S., Hinsinger Philippe., Turner Benjamin L. (2016). Phosphorus in soils and Plants – facing phosphorus scarcity. *Plant Soil*, 401, 1-6.
- Jing Jianyuan., Zhang Shuiqin., Yuan Liang., Li Yanting., Zhang Yingqiang., Ye Xinxin., Zhang Ligan., Xiong Qizhong., Wang Yingying., Zhao Bingqiang. (2023). Effects of incorporating different proportions of humic acid into phosphate fertilizers on phosphorus migration and transformation in soil. *Agronomy*. 13, 1-16.
- Yan Zhengjuan., Chen Shuo., Li Junliang., Alva Ashok., Chen Qing. (2016). Manure and nitrogen application enhances soil phosphorus mobility in calcareous soil in greenhouses. *Journal of Environmental Management*. 181, 26-35.
- Zhang Shuai., Wang Liying., Chen Shuo., Fan Bingqian., Huang Shaowen., Chen Qing. (2022). Enhanced phosphorus mobility in a calcareous soil with organic amendments additions: insights from a long term study with equal phosphorus input. *Journal of Environmental Management*. 306, 1-9.

### چکیده انگلیسی

#### The effect of phosphorus sources and humic acid on phosphorus mobility in soil

Fateme Moradi<sup>2</sup>, Reza Mohammadi<sup>2</sup>, Artin Latifi<sup>2</sup>, Amir Hossein Khoshgoftarmansh<sup>1</sup>

1- PhD student, Department of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology



19<sup>th</sup> 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 گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



- 2- Master student, Department of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology
- 3- Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology

Phosphorus is one of the essential and vital elements in plant nutrition and crop production. Given the challenges associated with the production of phosphorus fertilizer sources on the one hand, and the low efficiency of phosphorus fertilizers (mainly due to their fixation in the soil) on the other, finding a solution to improve fertilizer use efficiency and reduce fertilization costs is necessary. In this study, three phosphorus fertilizer sources—phosphoric acid, urea phosphate, and mono-potassium phosphate—were compared in terms of their effect on the availability of phosphorus in surface and subsurface soils, both in the presence and absence of humic acid. Among the studied soils (characterized by alkaline pH and high lime content), urea-phosphate increased the available phosphorus in both surface and subsurface layers more than the other fertilizers. The application of humic acid along with phosphoric acid and mono-potassium phosphate helped improve phosphorus availability in the soil. However, in the case of urea-phosphate, humic acid application had a negative effect on the amount of available phosphorus. Based on the results, acidic phosphorus fertilizers are more effective than mono-potassium phosphate in increasing the pool of available phosphorus in surface and subsurface soils.

**Keywords:** Humic acid, Phosphoric acid, Phosphorus, Monopotassium phosphate, Urea phosphate