



## تأثیر شوری بر توزیع شکل‌های فسفر یک خاک تیمار شده با لجن فاضلاب شهری

حدیث حاتمی<sup>۱\*</sup>، حسین پرویزی<sup>۲</sup>، علی مومن پور<sup>۳</sup>

۱- استادیار پژوهشی مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران؛\*

h.hatami@areeo.ac.ir

۲- استادیار پژوهشی مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران

۳- استادیار پژوهشی مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران

### چکیده:

افزودن منابع آلی از جمله لجن فاضلاب شهری می‌تواند به‌عنوان یکی از راه‌کارهای افزایش فراهمی فسفر خاک در شرایط شور در نظر گرفته شود. بنابراین، در یک مطالعه انکوباسیون اثر شوری و لجن فاضلاب شهری بر توزیع شکل‌های مختلف فسفر یک خاک آهکی مورد بررسی قرار گرفت. تیمارهای آزمایشی شامل ۳ سطح لجن فاضلاب شهری (صفر، ۰/۲۵ و ۰/۵ درصد وزنی/وزنی به-ترتیب  $M_0$ ،  $M_1$  و  $M_2$ ) و ۲ سطح شوری آب آبیاری (۲ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) در ۳ تکرار بود. سه ماه پس از شروع آزمایش، شکل‌های مختلف فسفر شامل محلول و تبادل (KCl-P)، متصل به آهن و آلومینوم (NaOH-P)، متصل به کلسیم (HCl-P)، باقی-مانده (Res-P) و آلی (Organic-P) با روش عصاره‌گیری متوالی استخراج و غلظت آن‌ها توسط روش رنگ‌سنجی قرائت شد. نتایج نشان داد مقدار فسفر در جزءهای HCl-P و Res-P با اعمال تیمارهای آزمایشی بدون تغییر باقی ماند درحالی‌که در جزءهای KCl-P و P و NaOH-P با افزایش سطح لجن فاضلاب شهری در هر دو شوری (به‌ویژه در ۲ دسی‌زیمنس بر متر) افزایش یافت. علاوه‌براین، Organic-P با افزایش شوری و سطح لجن فاضلاب شهری افزایش یافت. بنابراین، به نظر می‌رسد کاربرد لجن فاضلاب شهری از طریق افزایش فسفر در بخش‌های ناپایدارتر و بهبود محتوای آلی خاک می‌تواند در کاهش اثرات منفی شوری در فراهمی فسفر خاک و جذب توسط گیاه اثرگذار باشد.

**واژگان کلیدی:** شوری، عصاره‌گیری متوالی، فراهمی فسفر

### مقدمه:

شور شدن خاک به‌عنوان یک مشکل جهانی، در کاهش بهره‌وری کشاورزی و محیط زیست موثر است. طبق آمارهای جهانی خاک‌های شور-سدیمی تقریباً ۱۰ درصد از مساحت کل اراضی زراعی جهان را به خود اختصاص داده‌اند و عمدتاً در جنوب آمریکا، آسیا و آفریقا متمرکز یافته‌اند (Feng et al., 2024). در ایران حدود ۴۲ درصد از اراضی کشاورزی دارای درجات مختلفی از شوری (۲ تا ۳۲ > دسی‌زیمنس بر متر) هستند که گواه وسعت قابل توجه این اراضی در کشور است (سعادت و همکاران، ۱۴۰۲). جذب عناصر غذایی از جمله فسفر در شرایط شور می‌تواند به دلایل مختلفی از جمله تشکیل کمپلکس‌های Ca-P، تبدیل فرم‌های ناپایدارتر فسفر (Ca<sub>2</sub>-P) به فرم‌های پایدارتر (Ca<sub>8</sub>-P و Ca<sub>10</sub>-P) و اثرات سوء بر فعالیت آنزیم آلکالین فسفاتاز خاک (ALP) دچار اختلال شود (Maltas et al., 2022; Feng et al., 2024). در چنین شرایطی افزودن منابع حاوی فسفر از جمله کودهای شیمیایی به خاک کاملاً ضروری است اما با توجه به این‌که منبع اولیه این کودها (سنگ فسفات) از جمله منابع تجدیدنپذیر است لذا همواره نگرانی‌هایی درباره اتمام این منابع وجود دارد (Yu et al., 2015). در این راستا پتانسیل تأمین فسفر از ترکیبات آلی از جمله لجن فاضلاب شهری می‌تواند در جهت مدیریت پایدار فسفر در محیط‌های کشاورزی مفید و موثر باشد.

در چندین مطالعه اثرات مثبت منابع آلی از جمله لجن فاضلاب بر جذب فسفر توسط گیاه گزارش شده است (Bai et al., 2022) اما با توجه به این‌که افزودن منابع آلی به محیط خاک می‌تواند شیمی خاک و در نتیجه مقدار و توزیع فسفر در جزءهای مختلف خاک را دستخوش تغییر قرار دهد (Audette et al., 2016) و از طرف دیگر با توجه به متفاوت بودن پتانسیل تحرک و گردش فسفر



در هر جزء، فراهمی فسفر خاک به مقدار و شکل‌های فسفر موجود در خاک بستگی خواهد داشت (Akhtar et al., 2002) بنابراین، مدیریت منطقی و صحیح فسفر مستلزم آگاهی از اشکال مختلف آن در خاک است. در این راستا، سهم مطالعاتی که به تأثیر شوری و افزودن لجن فاضلاب بر جزءبندی فسفر خاک پرداخته باشند کمتر می‌باشد و در اکثر آن‌ها، مطالعه در محدوده شوری‌های پایین خاک صورت گرفته است و در طول دوره آزمایش رطوبت از طریق آب غیر شور تأمین شده است درحالی‌که بررسی خاک در شرایط شوری طبیعی آب و خاک می‌تواند نتایج نزدیک‌تر به واقعیتی را فراهم سازد. بنابراین، هدف از این مطالعه، بررسی اثرات شوری و کاربرد لجن فاضلاب شهری بر توزیع شکل‌های فسفر معدنی خاک بود.

## مواد و روش‌ها

در این پژوهش به منظور بررسی تأثیر لجن فاضلاب شهری و شوری بر توزیع شکل‌های مختلف فسفر یک خاک آهکی آبیاری شده با دو شوری مختلف از یک مطالعه انکوباسیون استفاده شد. تیمارها شامل لجن فاضلاب شهری در ۳ سطح صفر  $(M_0)$ ،  $0/25$   $(M_1)$  و  $0/5$   $(M_2)$  درصد وزنی/وزنی و شوری آب آبیاری در دو سطح ۲ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر بود. بنابراین، با احتساب ۳ تکرار تعداد کل نمونه‌ها ۱۸ عدد بود.

سطوح مورد نظر از هر یک از لجن فاضلاب شهری با ۱ کیلوگرم خاک خشک مخلوط و نمونه‌ها داخل گلدان‌های پلاستیکی در گلخانه به مدت ۳ ماه نگهداری شدند. در این مدت رطوبت نمونه‌ها توسط آب‌های با شوری ۲ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر در حد ظرفیت زراعی حفظ گردید. شوری‌های مورد نظر از اختلاط آب شهری و آب انتقال یافته از خارج محل آزمایش با شوری بسیار بالا تهیه شدند. برخی از ویژگی‌های فیزیکیوشیمیایی خاک مورد استفاده در این تحقیق و برخی از ویژگی‌های شیمیایی لجن فاضلاب شهری (تهیه شده از تصفیه‌خانه فاضلاب شهری یزد) مورد استفاده به همراه حد مجاز غلظت فلزات سنگین در لجن فاضلاب در جدول ۱ نشان داده شده است. همچنین برخی از ویژگی‌های شیمیایی آب آبیاری نیز در جدول ۲ نمایش داده شده است.

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در نمونه خاک و لجن فاضلاب شهری مورد استفاده

پارامتر	واحد	مقدار در خاک	مقدار در لجن فاضلاب شهری	حد مجاز غلظت فلزات سنگین در لجن فاضلاب (USEPA 1995)
شن	%	۶۸/۷	-	-
سیلت	%	۱۴	-	-
رس	%	۱۷/۳	-	-
pH*		۷/۲	۶/۴	-
EC**	dS m <sup>-1</sup>	۱۴	۴/۱	-
کربن آلی	%	۰/۰۸	۳۹/۹	-
کربنات کلسیم معادل (CCE)	%	۳۲	-	-
فسفر کل/ قابل دسترس***	mg kg <sup>-1</sup>	۴/۲	۲۴۰۰۰	-
کادمیم کل	mg kg <sup>-1</sup>	-	nd****	۳۴
سرب کل	mg kg <sup>-1</sup>	-	۳۸/۶	۳۰۰

\* اندازه‌گیری شده در نمونه خاک و لجن فاضلاب شهری به ترتیب در گل اشباع و نسبت ۱:۱۰ خاک به آب

\*\* اندازه‌گیری شده در نمونه خاک و لجن فاضلاب شهری به ترتیب در عصاره گل اشباع و نسبت ۱:۱۰ خاک به آب

\*\*\* اندازه‌گیری فسفر کل و قابل دسترس به ترتیب در نمونه لجن فاضلاب شهری و خاک

\*\*\*\* None-detected



جدول ۲- برخی از خصوصیات شیمیایی اندازه‌گیری شده در نمونه آب آبیاری

SAR	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	pH	EC dS m <sup>-1</sup>
	meq l <sup>-1</sup>							
۱۳/۷	۴/۱	۲/۹	۱۱۱	۷۰	۱۷	۳۵	۷/۹	۱۲

در پایان آزمایش، شکل‌های فسفر معدنی با روش عصاره‌گیری متوالی ارائه شده توسط Ann و همکاران (2000) که تغییر یافته Hedley و همکاران (1982) عصاره‌گیری شدند. به این نحو که ۱ گرم از هر یک از نمونه‌های خاک به صورت متوالی توسط ۲۰ میلی‌لیتر کلرید پتاسیم ۲ مولار (KCl-P)، ۲۰ میلی‌لیتر هیدروکسید سدیم ۰/۱ مولار (NaOH-P)، ۲۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۰/۵ مولار (HCl-P) و نسبت ۵:۲ اسید نیتریک-اسید پرکلریک (Res-P) عصاره‌گیری گردید که به ترتیب بیانگر جزءهای محلول و تبدالی، متصل به آهن و آلومینیوم، متصل به کلسیم و باقی‌مانده بود. برای اندازه‌گیری فسفر آلی (Organic-P) از روش پیشنهاد شده Walker و Adams (1958) استفاده شد. غلظت فسفر در عصاره‌ها به روش رنگ‌سنجی (Murphy and Riley, 1962) توسط دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد.

### نتایج و بحث:

توزیع شکل‌های مختلف فسفر خاک تحت تاثیر شوری آب آبیاری و لجن فاضلاب شهری در شکل ۱ نشان داده شده است. بر اساس نتایج، در شوری ۲ دسی‌زیمنس بر متر افزودن سطوح M<sub>1</sub> و M<sub>2</sub> لجن فاضلاب شهری به ترتیب سبب افزایش جزء KCl-P به مقادیر ۴۰/۶ و ۵۱/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم شده است که در مقایسه با سطح M<sub>0</sub> به ترتیب موجب افزایش ۲/۹ و ۳/۷ برابری در این جزء فسفر خاک شد. در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر مقادیر جزء KCl-P در تیمارهای M<sub>1</sub> و M<sub>2</sub> به ترتیب ۳۵/۲ و ۴۵/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که در مقایسه با سطح M<sub>0</sub> این شوری، افزایش ۲/۱ و ۲/۷ برابری در این جزء را موجب شده است. با توجه به این که ۷۰ تا ۹۰ درصد از فسفر موجود در لجن فاضلاب مربوط به شکل غیرآلی آن است (Akhtar et al., 2002) بنابراین، افزایش جزء KCl-P که بیانگر فسفر محلول و تبدالی خاک است، امری محتمل خواهد بود. علاوه بر این، مقادیر KCl-P در تیمارهای مربوط به شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر کمتر از تیمارهای هم‌ارز آن در شوری ۲ دسی‌زیمنس بر متر بود که این نکته گواه تاثیر شوری بر کاهش فراهمی فسفر خاک است. نتایج مطالعات نشان داده است که شوری و غلظت عناصر غذایی خاک از جمله فسفر دارای هم-بستگی هستند بدین نحو که افزایش شوری موجب کاهش فراهمی و شار فسفر محلول در خاک می‌گردد (Duan and Kaushal, 2015; Xie et al., 2019).

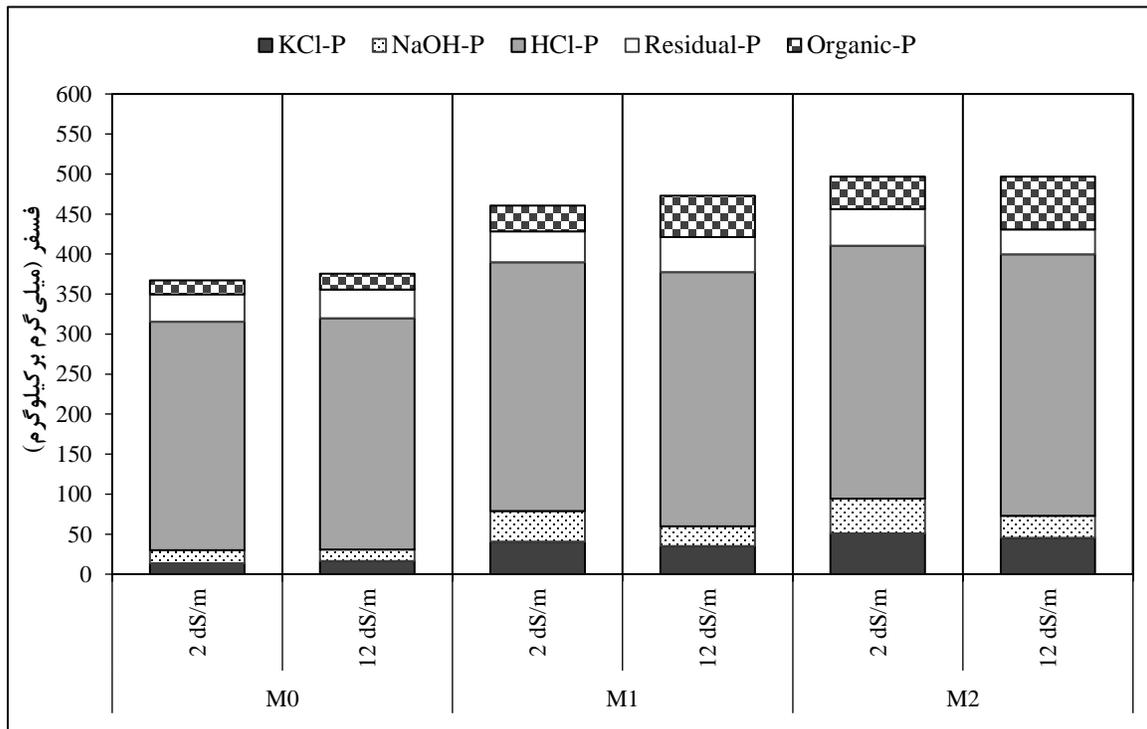
مشابه با KCl-P، افزودن سطوح M<sub>1</sub> و M<sub>2</sub> لجن فاضلاب شهری سبب افزایش جزء NaOH-P (فسفر متصل به اکسیدهای آهن و آلومینیوم) به ترتیب به مقادیر ۳۸/۵ و ۴۳/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم در شوری ۲ دسی‌زیمنس بر متر و ۲۴/۶ و ۲۷/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، گردید (شکل ۱). Ding و همکاران (2020) نیز در بررسی تاثیر چند منبع آلی و معدنی بر توزیع فسفر خاک نشان دادند که با افزایش شوری خاک، سهم فسفر متصل به اکسیدهای آهن و آلومینیوم کاهش می‌یابد که این نتیجه مشابه با نتایج پژوهش حاضر بود. با توجه به این که فسفر متصل به اکسیدهای آهن و آلومینیوم در طی فرآیند معدنی شدن می‌تواند به عنوان منبع بالقوه فسفر خاک و مکمل فسفر قابل دسترس خاک نقش‌آفرین باشد بنابراین، این جزء به عنوان فسفر نسبتاً فعال خاک در نظر گرفته می‌شود (Rose et al., 2010). از این رو کاربرد منابعی که سبب افزایش این جزء از فسفر خاک گردند بسیار مهم و اثرگذار خواهند بود.

همان‌گونه که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، جزء HCl-P با دارابودن بزرگ‌ترین مقادیر فسفر عصاره‌گیری شده، بیشترین سهم از فسفر کل (حدود ۶۳ تا ۷۷ درصد بسته به نوع تیمار) را به خود اختصاص داد که حاکی از وجود بخش عمده فسفر خاک در بخش



پیوندشده با کلسیم است. علاوه بر این مقایسه مقادیر این جزء در تیمارهای مختلف بیانگر ثبات تقریبی مقدار فسفر در این جزء است. مطالعات زیادی عدم تغییر یا تغییرات اندک در افزایش این جزء با افزودن کودهای آلی و معدنی را گزارش کرده‌اند (Meena et al., 2018; Houben et al., 2019; Biassoni et al., 2023). به‌طور مشابه، جز Res-P نیز با اعمال تیمارهای مختلف، تقریباً پایدار و ثابت باقی ماند. عدم تغییر یا تغییرات اندک فسفر در این جزء توسط محققین دیگر نیز گزارش شده است (Jalali and Ranjbar, 2019; Houben et al., 1999).

مقادیر فسفر در جزء Organic-P بسته به تیمارهای آزمایشی بین ۴/۸ تا ۱۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم تعیین شد که معادل با سهم نسبی ۴/۸ تا ۱۷ درصدی از فسفر کل بود بنابراین، این جزء پس از HCl-P، بیشترین سهم نسبی فسفر را به خود اختصاص داد (شکل ۱). همچنین بر اساس نتایج، مقادیر این جزء از فسفر در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر بزرگ‌تر از شوری ۲ دسی‌زیمنس بر متر بود. به‌طور کلی با توجه به درصد بالای کربن آلی در نمونه لجن فاضلاب شهری (جدول ۱)، افزایش سهم نسبی Organic-P در تیمارهای لجن فاضلاب شهری امری دور از انتظار نبود. علاوه بر این، در برخی از مطالعات، با افزودن ترکیبات آلی به خاک، هم-بستگی مثبتی میان افزایش کربن آلی خاک و سهم جزء Organic-P مشاهده شده است (Turner et al., 2003; Costa et al., 2016). در مطالعه حاضر در شوری ۲ دسی‌زیمنس بر متر، کربن آلی خاک از مقدار ۰/۱۳ درصد در تیمار M<sub>0</sub> به مقدار ۰/۱۸ و ۰/۲۴ درصد به ترتیب در تیمارهای M<sub>1</sub> و M<sub>2</sub> و در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر از مقدار ۰/۱۷ درصد در تیمار M<sub>0</sub> به مقدار ۰/۱۷ و ۰/۳۱ درصد به ترتیب در تیمارهای M<sub>1</sub> و M<sub>2</sub> افزایش یافت. بنابراین، افزایش کربن آلی خاک نیز می‌تواند یکی از دلایل افزایش سهم نسبی Organic-P باشد.



شکل ۱- اثر شوری و لجن فاضلاب شهری بر توزیع شکل‌های فسفر خاک (M<sub>0</sub>, M<sub>1</sub> و M<sub>2</sub> به ترتیب سطوح صفر، ۰/۲۵ و ۰/۵ درصد (وزنی/وزنی) لجن فاضلاب شهری هستند)



### نتیجه‌گیری:

بر اساس نتایج این پژوهش، افزودن لجن فاضلاب شهری می‌تواند با افزایش فسفر در بخش‌های ناپایدارتر مثل محلول، تبادل و متصل به اکسیدهای آهن و آلومینیوم در افزایش فراهمی این عنصر در خاک‌های شور موثر باشد. همچنین از دیگر اثرات مثبت لجن فاضلاب شهری، افزایش کربن آلی خاک و سهم نسبی جزء فسفر آلی خاک بود که می‌تواند همزمان با افزایش ذخایر فسفر خاک در بهبود ویژگی‌های خاک و رشد گیاه تاثیرگذار باشد. اگرچه نتایج آنالیز اولیه لجن فاضلاب شهری در این تحقیق گواه عدم حضور و یا غلظت بسیار پایین عناصر کادمیم و سرب در نمونه و در نتیجه بی‌خطر بودن کاربرد آن در خاک داشت اما اثرات درازمدت کاربرد لجن فاضلاب شهری بر غلظت این عناصر در خاک و گیاه نیازمند مطالعات بیشتر می‌باشد.

### فهرست منابع

- سعادت، س.، رضایی، ح.، اسماعیل نژاد، ل.، میرخانی، ر.، باقری، ی.ر. (۱۴۰۲). نقشه شوری خاک‌های کشاورزی ایران (نشریه فنی شماره ۶۳۰). انتشارات موسسه تحقیقات خاک و آب کشور. ۲۶ ص.
- Akhtar, M., McCallister, D.L., Eskridge, K.M. (2002). Availability and fractionation of phosphorus in sewage sludge-amended Soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 33(13&14): 2057–2068.
- Ann, Y., Reddy, K.R., Delfino, J.J. (2000). Influence of chemical amendments on phosphorus immobilization in soils from a constructed wetland. *Ecological Engineering*, 14: 157-167.
- Audette, Y., O'Halloran, I.P., Evans, L.J., Martin, R.C., Voroney, R.P. (2016). Kinetics of phosphorus forms applied as inorganic and organic amendments to a calcareous soil II: effects of plant growth on plant available and uptake phosphorus. *Geoderma*, 279: 70–76.
- Bai, J., Sun, X., Xu, C., Ma, X., Huang, Y., Fan, Z., & Cao, X. (2022). Effects of sewage sludge application on plant growth and soil characteristics at a *Pinus sylvestris* var. mongolica plantation in Horqin Sandy land. *Forests*, 13: 984.
- Biassoni, M.M., Vivas, H., Gutiérrez-Boem, F.H., Salvaggiotti, F. (2023). Changes in soil phosphorus (P) fractions and P bioavailability after 10 years of continuous P fertilization. *Soil and Tillage Research*, 232: 105777.
- Costa, M.G., Gama-Rodrigues, A.C., Moraes Gonçalves, J.L., Gama-Rodrigues, E.F., Silva Sales, M.V., Aleixo, S. (2016). Labile and non-Labile fractions of phosphorus and its transformations in soil under eucalyptus plantations, Brazil. *Forests*, 7: 15.
- Ding, Z., Kheir, A.M. S., Ali, M.G. M., Ali, O.A. M., Abdelaal, A. N., Lin, X., Zhou, Z., Wang, B., Liu, B., He, Z. (2020). The integrated effect of salinity, organic amendments, phosphorus fertilizers, and deficit irrigation on soil properties, phosphorus fractionation and wheatp. *Scientific Reports*, 10: 2736.
- Duan, S., and Kaushal, S.S. (2015). Salinization alters fluxes of bioreactive elements from stream ecosystems across land use. *Biogeosciences*, 12: 7331–7347.
- Feng, X., Liu, C., Li, Y., Xu, J., Zhang, J., Meng, Q. (2024). The long-term effect of cattle manure application on Soil P availability and P fractions in saline-sodic soils in the Songnen plain of China. *Agronomy*, 14: 3059.
- Hedley, M.J., Stewart, J.W.B., Chauhan, B.C. (1982). Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induce by cultivation practices and by laboratory incubation. *Soil Science Society of America Journal*, 46: 970–976.
- Houben, D., Michel, E., Nobile, C., Lambers, H., Kandeler, E., Faucon, M.P. (2019). Response of phosphorus dynamics to sewage sludge application in an agroecosystem in Northern France. *Applied Soil Ecology*, 137: 178–186.
- Jalali, M. and Ranjbar, F. (1999). Aging effects on phosphorus transformation rate and fractionation in some calcareous soils. *Geoderma*, 155: 101–106.
- Maltas, A.S., Tavali, I.E., Uz, I., Kaplan, M. (2022). Monitoring the effects of pH and EC regulated drip fertigation on microbial dynamics of calcareous soil in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cultivation under greenhouse conditions in a Mediterranean climate. *Scientia horticulturae*, 306: 111448.
- Meena, M.D., Narjary, B., Sheoran, P., Jat, H.S., Joshi, P.K., Chinchmalatpure, A.R., Yadav, G., Yadav, R.K., Meena, M.K. (2018). Changes of phosphorus fractions in saline soil amended with municipal solid waste compost and mineral fertilizers in a mustard-pearl millet cropping system. *Catena*, 160: 32-40.



- Murphy, J., and Riley, J.P. (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta*, 27: 31–36.
- Rose, T.J., Hardiputra, B., Rengel, Z. (2010). Wheat, canola and grain legume access to soil phosphorus fractions differs in soils with contrasting phosphorus dynamics. *Plant Soil*, 326: 159–170.
- Turner, B.L., Cade-Menun, B.J., Westermann, D.T. (2003). Organic phosphorus composition and potential bioavailability in semi-arid arable soils the Western United States. *Soil Science Society of America Journal*, 67: 1168–1179.
- Walker, T.W., and Adams, A.F.R. (1958). Ignition method. In: Klute, A. (Ed), *Methods of Soil Analysis: Physical Properties, Part 1*, second ed. Agron Monogr, No 9. Madison WI: ASA and SSSA. pp. 403–430.
- Xie, X., Pu, L., Zhu, M., Xu, Y., Wang, X. (2019). Linkage between soil salinization indicators and physicochemical properties in a long-term intensive agricultural coastal reclamation area, Eastern China. *Journal of Soils and Sediments*, 19: 3699–3707.
- Yu, Q., Zheng, Y., Wang, Y., Shen, L., Wang, H., Zheng, Y., He, N., & Li, Q. (2015). Highly Selective Adsorption of Phosphate by Pyromellitic Acid Intercalated ZnAl-LDHs: Assembling Hydrogen Bond Acceptor Sites. *Chemical Engineering Journal*, 260: 809-817.

### The Impact of Salinity on the Distribution of Phosphorus Forms in a Soil Amended with Municipal Sewage Sludge

Hadis Hatami<sup>1\*</sup>, Hossein Parvizi<sup>2</sup>, Ali Momenpour<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Assistant Professor of National Salinity Research Center (NSRC), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran. \* h.hatami@areeo.ac.ir

<sup>2</sup>Assistant Professor of National Salinity Research Center (NSRC), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran

<sup>3</sup>Assistant Professor of National Salinity Research Center (NSRC), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran

#### Abstract

Incorporating organic materials, such as municipal sewage sludge (MSS), can be a valuable approach to improving phosphorous (P) availability in saline soils. However, understanding how different soil P forms change after addition of these compounds is essential for optimizing their management and improving soil fertility. Therefore, an incubation study was conducted to evaluate the effects of salinity and MSS on the distribution of P forms in a calcareous soil. The experiment included three levels of MSS (0, 0.25, and 0.5% w/w, designated as M<sub>0</sub>, M<sub>1</sub>, and M<sub>2</sub>) and two levels of irrigation water salinity (2 and 12 dS m<sup>-1</sup>), with three replicates per treatment. After three months, sequential extraction was performed to isolate different P fractions, including soluble and exchangeable P (KCl-P), Fe- and Al bound P (NaOH-P), Ca-bound P (HCl-P), residual P (Res-P), and organic P (Organic-P). P concentrations in the samples were measured using molybdate method. The results indicated that P amounts in the HCl-P and Res-P fractions remained unaffected by the applied treatments. However, P concentrations in the KCl-P and NaOH-P fractions increased as MSS levels rose under both salinity conditions, with a more pronounced effect at 2 dS m<sup>-1</sup>. Furthermore, Organic-P concentrations increased with rising salinity and MSS levels. Consequently, applying MSS may improve soil P availability by increasing its presence in more labile fractions and enhancing soil organic matter, thereby mitigating the adverse effects of salinity on soil P availability and plant P uptake.

**Keywords:** Phosphorous availability, Salinity, sequential extraction