

ارزیابی وضعیت فسفر در یک خاک شور تیمار شده با لجن فاضلاب و سوپرفسفات تریپل با استفاده از روش جزء بندی شیمیایی

مریم معینی^۱، *مجید حجازی مهریزی^۲ و اعظم جعفری^۳

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه شهید باهنر کرمان

۲- استادیار، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

۳- استادیار، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

تاریخچه مقاله	چکیده
دریافت: ۱۳۹۳/۱۱/۲۵ پذیرش نهایی: ۱۳۹۴/۰۶/۰۲	تعیین شکل‌های شیمیایی فسفر در خاک اطلاعات مفیدی را در ارتباط با تغذیه فسفر فراهم می‌آورد. این مطالعه به صورت دو عاملی در سه تکرار و در قالب طرح کاملاً تصادفی با هدف بررسی تأثیر کاربرد تلفیقی منابع آلی و معدنی فسفر بر شکل‌های شیمیایی فسفر در یک خاک شور و ارتباط آن‌ها با جذب فسفر توسط گندم انجام شد. مقدار ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم فسفر از منبع آلی (لجن فاضلاب شهری) و منبع معدنی (سوپرفسفات- تریپل) و مخلوط آن‌ها به یک خاک با کمبود فسفر و شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر افزوده و رقم گندم ماهوتی در آن‌ها کشت شد. نتایج نشان داد که در ماه‌های اول و دوم تفاوتی بین تیمارهای کودی با تیمار شاهد از لحاظ خصوصیات رشدی گندم وجود نداشت در حالی که در ماه سوم کاربرد لجن فاضلاب به صورت مستقل و تلفیقی با کود فسفوری سبب افزایش ارتفاع، وزن تر و وزن خشک شاخسار در مقایسه با تیمار شاهد شد. در تمامی تیمارها، فسفر قابل استخراج با آب کمترین و فسفر قابل استخراج با اسید بیشترین مقدار را در بین شکل‌های فسفر معدنی به خود اختصاص داد. کاربرد تلفیقی لجن فاضلاب با کود فسفوری بیشترین تأثیر را بر $\text{NaHCO}_3\text{-P}$ داشت به طوری که سبب افزایش ۱/۳۹ برابری در $\text{H}_2\text{O-P}$ ، ۱/۹۳ برابری در $\text{NaHCO}_3\text{-P}$ ، ۰/۶۷ برابری در NaOH-P و ۱/۰۰ برابری در HCl-P در مقایسه با تیمار شاهد گردید. نتایج این تحقیق نشان داد که کاربرد تلفیقی لجن فاضلاب و کود فسفوری تأثیر بهتری در افزایش فراهمی فسفر و رشد گندم در شرایط شور دارد.

*عده دار مکاتبات

E-mail: mhejazi@uk.ac.ir

مقدمه

بخش قابل توجهی از اراضی کشاورزی ایران در مناطق خشک و نیمه خشک قرار گرفته است. در این مناطق کمبود ماده آلی، قابلیت جذب پایین عناصر غذایی و شوری از عوامل اصلی در کاهش تولید محصولات زراعی محسوب می-شوند (۲۹). در میان عناصر غذایی ضروری، فسفر نقش مهمی در پیدایش ترکیبات پرانرژی و برقراری فرایندهای بیوشیمیایی در گیاه دارد (۲۲) به طوری که هر گونه تغییر در میزان فسفر گیاه می تواند به طور مستقیم فعالیت های حیاتی سلول را محدود نماید (۳۸). تنش شوری می-تواند قابلیت دسترسی فسفر برای گیاهان را محدود و از طریق کاهش انتقال مواد فتوسنتزی سبب کاهش رشد عمومی گیاه شود (۲۱). افزایش قدرت یونی و کاهش فعالیت فسفر در محلول و تشکیل کانی های فسفات کلسیم از جمله دلایل کاهش جذب فسفر توسط گیاهان در خاک های شور ذکر شده است (۹). علاوه بر نقش فسفر در فرایندهای حیاتی گیاه، این عنصر برای تأمین مکانیسم های تحمل گیاه به تنش ضروری است. برای مثال کاربرد فسفر در شرایط شور می تواند از طریق توزیع مناسب یون ها در گیاه سبب افزایش تحمل به تنش و بهبود خصوصیات رشدی گیاه شود (۲۲).

تولید انبوه پسماندهای آلی در فعالیت های صنعتی، کشاورزی و شهری محدودیت های زیادی را در ارتباط با محل دفن این پسماندها به وجود آورده است (۳۷). تولید متوسط سالانه ۳۰

میلیون تن لجن فاضلاب در جهان ایجاد می کند که این ماده به نحو مطلوب و آگاهانه دفع شود تا آلودگی به آب، هوا و خاک لطمه ای را وارد نکند (۱۳). در سال های اخیر استفاده از لجن فاضلاب شهری به عنوان یک کود آلی ارزان قیمت هم از نظر اصلاح خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک و هم از لحاظ افزایش سطح حاصل خیزی خاک مورد توجه قرار گرفته است (۲). لجن فاضلاب حاوی مقادیر زیادی فسفر می باشد که استفاده از آن در اراضی آهکی مناطق خشک و نیمه خشک می تواند جذب فسفر توسط گیاه را افزایش دهد (۳۷). لجن فاضلاب از طریق کاهش ظرفیت تثبیت فسفر در خاک، قابلیت جذب این عنصر توسط گیاه را افزایش می دهد (۳۱). شرودر و همکاران^۱ (۲۸) نشان دادند که کاربرد طولانی مدت لجن فاضلاب سبب افزایش جذب فسفر توسط گندم شد. در مطالعه گاوالدا و همکاران^۲ (۶) کاربرد لجن فاضلاب در مقایسه با دو نوع کود شیمیایی و کود گاوی تأثیر بیشتری بر میزان جذب فسفر توسط ذرت داشت.

آگاهی از شکل های شیمیایی فسفر در فهم جنبه های پیدایش و حاصل خیزی خاک اهمیت دارد. تعیین فراوانی و توزیع شکل های فسفر اطلاعات مفیدی را در ارتباط با قابلیت جذب فسفر توسط گیاهان و همچنین ذخایری از فسفر که در طول دوره شد گیاه به صورت قابل

1- Schroder *et al.*2- Gavalda *et al.*

فسفر قابل جذب خاک شد. سفیدگر شاهکلایی (۲۹) تأثیر لجن فاضلاب را در یک خاک آهکی از استان گلستان مورد بررسی قرار داده و نشان دادند که تمامی شکل‌های فسفر شامل فسفر لبایل^۳، فسفر قابل جذب خاک، فسفر محبوس شده در اکسیدهای آهن و آلومینیوم و فسفات‌های کلسیم در پاسخ به کاربرد لجن افزایش یافتند. کید و همکاران^۴ (۱۶) فسفر پیوند یافته با اکسیدهای آهن و آلومینیوم را جزء غالب خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب گزارش کردند. آن‌ها استفاده از $FeCl_3$ در طی فرایند تصفیه لجن را دلیل افزایش فسفات‌های آهن در خاک ذکر کردند. در مطالعه شرر و شرما^۵ (۲۷) که در یک خاک لسی تیمار شده با لجن فاضلاب انجام شد، فسفر پیوند یافته با اکسیدهای آهن و آلومینیوم و فسفر پیوند یافته به کربنات کلسیم به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار را در بین سایر شکل‌های فسفر به خود اختصاص دادند. کریرا و همکاران^۶ (۳) گزارش دادند که کربنات‌ها، اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن نقش مؤثری در رسوب فسفر بصورت فسفات‌های کلسیم و فسفات آهن دارند.

بررسی توزیع و فراوانی شکل‌های فسفر در خاک‌های شور می‌تواند اطلاعات مفیدی در ارتباط با توانایی آن‌ها در تأمین فسفر مورد نیاز گیاه را ارائه نماید. تاکنون مطالعات چندانی در ارتباط با جداسازی شکل‌های مختلف فسفر در خاک‌های

استفاده در می‌آیند، ارایه می‌کند (۲۰). روش جداسازی و کمی‌سازی شکل‌های شیمیایی فسفر اولین بار توسط چانگ و جکسون^۱ (۵) پیشنهاد و به مرور اصلاح شد (۲۶). یکی از روش‌هایی که به طور گسترده جهت جداسازی شکل‌های فسفر مورد استفاده قرار می‌گیرد روش ابداع شده توسط هدلی و همکاران^۲ (۱۱) می‌باشد. در این روش شکل‌های مختلف ژئوشیمیایی فسفر شامل فسفر محلول، تبادل، پیوند یافته با اکسیدهای آهن و آلومینیوم و پیوند یافته با کربنات کلسیم از یکدیگر تفکیک می‌شوند. این شکل‌ها به طور قابل توجهی در میزان تحرک و قابلیت دسترسی زیستی با یکدیگر متفاوت هستند به طوری که مجموع فسفر محلول و تبدالی تحت عنوان شکل قابل دسترس، فسفر پیوند یافته با اکسیدهای آهن و آلومینیوم تحت عنوان شکل نسبتاً قابل دسترس و فسفر پیوند یافته با کربنات کلسیم تحت عنوان شکل غیر قابل دسترس فسفر شناخته می‌شوند (۲۵).

مطالعات متعددی در ارتباط با اثر لجن فاضلاب بر وضعیت فسفر در خاک‌های مختلف صورت گرفته است. خورشید و همکاران (۱۵) با کاربرد لجن فاضلاب در تعدادی از خاک‌های همدان نشان دادند که کاربرد لجن فاضلاب سبب افزایش فسفر قابل جذب شد. در مطالعه‌ی احمدپور و همکاران (۲) کاربرد ۳ سال لجن فاضلاب غنی شده با کود شیمیایی سبب افزایش

3- Labile P

4- Kidd *et al.*

5- Scherer and Sharma

6- Carreira *et al.*

1- Chang and Jackson

2- Hedley *et al.*

نگهداری شدند. در زمان‌های ۱، ۲ و ۳ ماه بعد از اعمال تیمارهای کودی، بخش شاخسار از ریشه جدا و وزن تر و ارتفاع شاخسار اندازه‌گیری شد. همچنین وزن خشک شاخسار بعد از خشک کردن نمونه‌های گیاهی در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی-گراد تعیین شد. نمونه‌های خاک نیز بعد از هواخشک شدن و عبور از الک دو میلی‌متری جهت تعیین شکل‌های فسفر معدنی به آزمایشگاه انتقال یافتند. تعیین شکل‌های فسفر معدنی بر اساس روش هدلی و همکاران (۱۱) اصلاح شده توسط سویی و همکاران (۳۲) انجام شد. یک گرم از خاک به طور متوالی با ۳۰ میلی‌لیتر آب مقطر، بیکربنات سدیم ۰/۵ مولار تنظیم شده در $pH=8.2$ سود ۰/۱ مولار و اسید کلریدریک ۱ مولار عصاره‌گیری شد. میزان فسفر موجود در عصاره‌ها به روش رنگ سنجی تعیین شد (۱۸). جهت تعیین فسفر در شاخسار گندم، عصاره‌گیری به روش هضم تر انجام و غلظت فسفر شاخسار به روش آمونیوم مولیبدات و انادات (۴) اندازه‌گیری شد. غلظت فسفر و جذب کل فسفر از هر گلدان به عنوان پاسخ‌های گیاهی در نظر گرفته شد. این مطالعه در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. برای پردازش آماری از نرم‌افزار SAS استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد انجام شد. ضرایب همبستگی و معنی‌دار بودن آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS تعیین شد.

شور و تأثیر کاربرد کودهای آلی و معدنی بر آن‌ها صورت نگرفته است. به همین دلیل این مطالعه با هدف بررسی تأثیر کاربرد مستقل و تلفیقی منبع آلی و معدنی فسفری در یک خاک شور بر اجزای فسفر، جذب فسفر و رشد گندم با گذشت زمان انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

یک نمونه خاک شور با کمبود فسفر از مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان انتخاب و به گلخانه انتقال داده شد (جدول ۱). با توجه به حد بحرانی فسفر برای گندم (۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، خاک مورد مطالعه دارای کمبود فسفر می‌باشد. میزان سه کیلوگرم خاک به گلدان‌های پلاستیکی انتقال و تیمارهای کودی شامل مقدار ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم فسفر از منبع آلی (لجن فاضلاب شهری)، منبع معدنی فسفر (سوپرفسفات تریپل) و مخلوط (لجن فاضلاب + سوپرفسفات تریپل) به گلدان‌ها افزوده شد. تیمار شاهد نیز هیچ‌گونه کود فسفری دریافت نکرد. لجن فاضلاب مورد استفاده در این مطالعه عمدتاً منشا شهری داشته و حاوی مقادیر زیادی فسفر و نیتروژن می‌باشد. برخی از خصوصیات لجن فاضلاب در جدول ۲ نشان داده شده است. بر اساس نتایج آزمون خاک، سایر عناصر مورد نیاز گیاه به گلدان‌ها افزوده شد. در هر گلدان ۸ عدد بذر گندم رقم ماهوتی کشت و پس از جوانه زنی، تعداد ۴ بوته در هر گلدان نگه‌داری شد. گلدان‌ها به مدت ۳ ماه در گلخانه با شرایط کنترل شده

جدول (۱) برخی از خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک مورد مطالعه
Table (1) Physicochemical properties of the studied soil

CEC	pH	EC	CCE	OC	نیترژن کل (Total N)	فسفر قابل جذب (Available P)	فسفر کل (Total P)	بافت خاک (Soil Texture)
(cmolc kg ⁻¹)	-	(dS m ⁻¹)	(%)		(mg kg ⁻¹)		-	
11.3	7.7	6.0	24.0	0.7	400.0	7.0	65.8	شن لومی

EC: Electrical Conductivity; OC: Organic Carbon; CCE: Calcium Carbonates Equivalent; FC: Field Capacity; CEC: Cation Exchange Capacity

کاتیونی می باشد.

EC: Electrical Conductivity; OC: Organic Carbon; CCE: Calcium Carbonates Equivalent; FC: Field Capacity; CEC: Cation Exchange Capacity.

جدول (۲) برخی خصوصیات لجن مورد استفاده
Table (2) Chemical properties of sewage sludge used in the study

HCl-P	NaOH-P	NaHCO ₃ -P	H ₂ O-P	فسفر کل (Total P)	نیترژن کل (Total N)	EC _{1:5}	pH _{1:5}
(mg kg ⁻¹)				(%)		(dS m ⁻¹)	-
425.4	1386.3	3025.3	1735.2	3.36	2.0	3.75	6.91

H₂O-P: فسفر قابل استخراج با آب، NaHCO₃-P: فسفر قابل استخراج با بیکربنات سدیم، NaOH-P: فسفر قابل استخراج با سود و

HCl-P: فسفر قابل استخراج اسید کلریدریک

H₂O-P: water extractable P; NaHCO₃-P: NaHCO₃ extractable P; NaOH: NaOH extractable P; HCl-P: HCl extractable P

وینتر (P<0.05) وزن تر شاخسار گندم در مقایسه با تیمار شاهد شدند، هرچند، اختلاف بین تیمارهای کودی معنی دار نبود. در پایان ماه سوم تأثیر تیمارهای کودی بر وزن تر شاخسار گندم متفاوت بود به طوری که بیشترین وزن تر شاخسار در تیمارهای لجن فاضلاب و مخلوط اندازه گیری شد. در پایان این ماه اگرچه کود شیمیایی سبب افزایش وزن تر شاخسار شد ولی تأثیر آن در مقایسه با تیمار لجن فاضلاب و تیمار

نتایج و بحث

ویژگی های رویشی گندم

نتایج این مطالعه نشان داد که وزن تر، خشک و ارتفاع شاخسار گندم به طور معنی داری (P<0.01) تحت تأثیر تیمارهای کودی، زمان و اثرات متقابل آنها قرار گرفت (جدول ۳).

وزن تر شاخسار

در پایان ماه اول، اختلاف معنی داری از لحاظ وزن تر شاخسار بین تیمارهای کودی مشاهده نشد (شکل ۱). در پایان ماه دوم تیمارهای کودی سبب افزایش معنی دار

معینی و همکاران: ارزیابی وضعیت فسفر در یک خاک شور...

جدول (۳) نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای مختلف بر ویژگی‌های رویشی گندم.
Table (3) ANOVA results of the effects of different treatments on wheat growth characteristics

ارتفاع شاخسار (Plant Height)	وزن خشک شاخسار (Shoot Dry Weight)	وزن تر شاخسار (Shoot Fresh Weight)	درجه آزادی (df)	منابع تغییرات (S.O.V)
32.8**	9.63**	213.7**	3	تیمار کودی (Fertilizer Treatment)
1723.8**	109.3**	1824.9**	2	زمان (Time)
11.7**	5.0**	78.9**	6	تیمار کودی*زمان (Treatment*Time Fertilizer)

* و ** معنی‌داری در سطح ۵ و ۱ درصد و ns غیر معنی‌دار

*: significant at $P<0.05$; **: significant at $P<0.01$; ns: non-significant

شاخسار در مقایسه با تیمار شاهد شدند و بیشترین میزان (۸/۵ گرم در گلدان) در تیمار لجن فاضلاب اندازه‌گیری شد. رشد بیشتر گندم در تیمار لجن فاضلاب را می‌توان به وجود عناصر غذایی مهم نظیر نیتروژن، فسفر و عناصر غذایی کم مصرف در این کود نسبت داد. قربانی و همکاران^(۷) نیز افزایش وزن خشک گیاه را در اثر کاربرد لجن فاضلاب گزارش کردند.

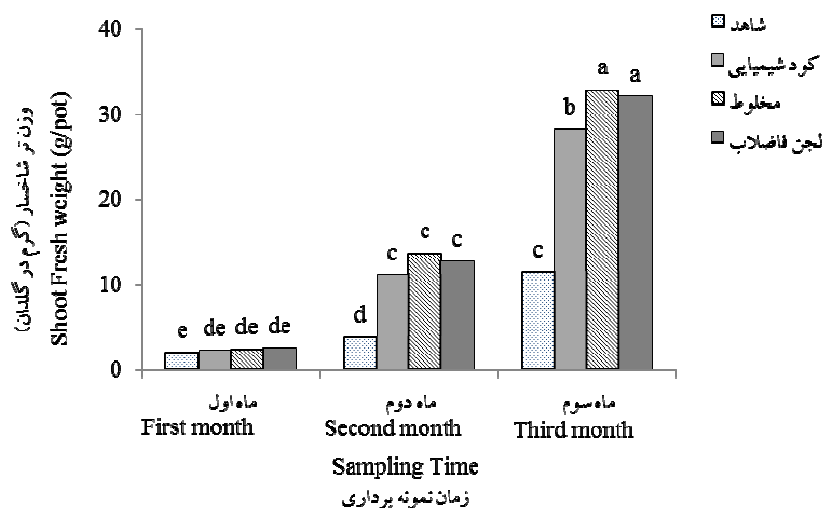
ارتفاع شاخسار

در پایان ماه‌های اول و دوم بین تیمارهای کودی و تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری از لحاظ ارتفاع شاخسار وجود نداشت در حالی که در پایان ماه سوم تیمار لجن فاضلاب و تیمار مخلوط سبب افزایش معنی‌دار این شاخص در مقایسه با تیمار شاهد شدند (شکل ۳). در این ماه تیمار کود شیمیایی نتوانست سبب افزایش معنی‌دار ارتفاع

مخلوط کمتر بود. این امر می‌تواند ناشی از وجود عناصر نیتروژن و عناصر کم مصرف در لجن فاضلاب باشد که سبب رشد بیشتر گندم در مقایسه با تیمار کود شیمیایی شده است. به علاوه به نظر می‌رسد که تثبیت فسفر در تیمار کود شیمیایی با گذشت زمان سبب کاهش اثرات این کود شده است. مطالعات راقوتاما و کارتیکیان^(۲۳) نیز نشان داد که ۸۰ درصد از کود فسفوری افزوده شده به خاک به صورت آلی و معدنی تثبیت می‌شود.

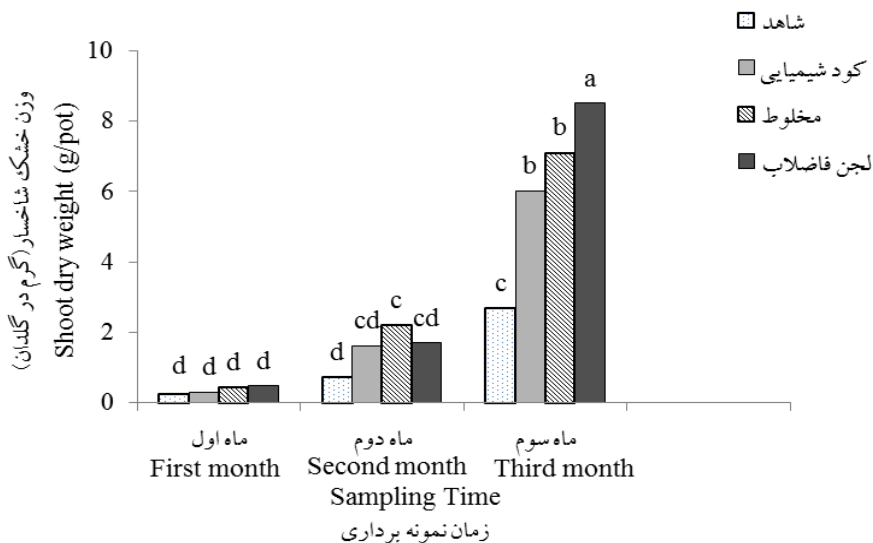
وزن خشک شاخسار

اختلاف معنی‌داری از لحاظ وزن خشک شاخسار بین تیمارهای کودی با تیمار شاهد در پایان ماه اول مشاهده نشد در حالی که در پایان ماه دوم تیمار مخلوط توانست سبب افزایش معنی‌دار این ویژگی رویشی گردد (شکل ۲). در پایان ماه سوم تیمارهای کودی به طور قابل ملاحظه‌ای سبب افزایش وزن خشک



شکل (۱) اثرات تیمارهای کودی بر وزن تر شاخسار گندم با گذشت زمان (ستون‌های دارای حروف مشابه در سطح ۵ درصد معنی‌دار نیستند)

Figure (1) The effects of fertilizer treatments on shoot fresh weight with time (Columns followed by the same letter are not significantly different at $P>0.05$)



شکل (۲) اثرات تیمارهای کودی بر وزن خشک شاخسار گندم با گذشت زمان (ستون‌های دارای حروف مشابه در سطح ۵ درصد معنی‌دار نیستند)

Figure (2) The effects of fertilizer treatments on shoot dry weight with time (Columns followed by the same letter are not significantly different at $P>0.05$)

مقدار بالای نیتروژن و عناصر غذایی کم مصرف در این کود، بهبود ویژگی‌های فیزیکی و بیولوژیکی خاک و تأثیر آن‌ها بر رشد رویشی

شاخسار در مقایسه با تیمار شاهد گردد. از آنجا که ارتفاع گیاه به عنوان یک ویژگی رویشی محسوب می‌شود، ارتفاع بیشتر گندم در تیمارهای حاوی لجن فاضلاب را می‌توان به

خاک می‌گردد (۳۵). میزان فسفر قابل استخراج با آب در تیمارهای مختلف با گذشت زمان کاهش یافت به طوری که کمترین مقدار آن (۴/۸۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در پایان ماه سوم اندازه‌گیری شد. این امر می‌تواند ناشی از تبدیل این شکل فسفر به شکل‌های پایدارتر و همچنین جذب این منبع سهل‌الوصول توسط گیاه باشد. تفاوت معنی‌داری از لحاظ فسفر قابل استخراج با آب در پایان ماه اول و دوم مشاهده نشد. در مطالعه والد‌ریپ-دیل^۲ (۳۴) نیز بعد از گذشت ۱۰۸ روز فسفر قابل استخراج با آب در خاک‌های تیمار شده با کود مرغی کاهش یافت. آن‌ها دلیل این کاهش را تبدیل سریع فسفر قابل استخراج با آب به سایر شکل‌های پایدار فسفر ذکر کردند.

فسفر قابل استخراج با بیکربنات سدیم

میزان فسفر قابل استخراج با بیکربنات سدیم به عنوان یک شاخص مهم برای ارزیابی حاصل-خیزی خاک از لحاظ فسفر می‌باشد (۱۰). در تمامی زمان‌ها، کاربرد تیمارهای کودی سبب افزایش معنی‌دار $\text{NaHCO}_3\text{-P}$ در مقایسه با تیمار شاهد شد (شکل ۶). در پایان ماه اول و دوم بیشترین مقدار $\text{NaHCO}_3\text{-P}$ در تیمار مخلوط مشاهده شد، در حالی که در پایان ماه سوم تیمار لجن فاضلاب و مخلوط به یک نسبت سبب افزایش این بخش از فسفر شدند. خورشید و همکاران (۱۵) علت افزایش $\text{NaHCO}_3\text{-P}$ را به مقادیر بالای فسفر قابل استفاده در لجن

نسبت داد. نیلسون و همکاران^۱ (۱۹) نیز بیان نمودند که افزایش رشد و عملکرد به افزایش قابلیت دسترسی عناصر به ویژه نیتروژن و فسفر موجود در لجن فاضلاب و تأثیر این کود در افزایش آب قابل دسترس برای گیاهان مربوط می‌باشد.

شکل‌های فسفر معدنی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی تیمارهای کودی و زمان بر تمامی شکل‌های فسفر معدنی معنی‌دار ($P < 0.01$) بود (جدول ۴). همچنین به جز فسفر قابل استخراج با آب، اثر متقابل تیمارهای کودی و زمان بر سایر شکل‌های فسفر معنی‌دار شد.

فسفر قابل استخراج با آب

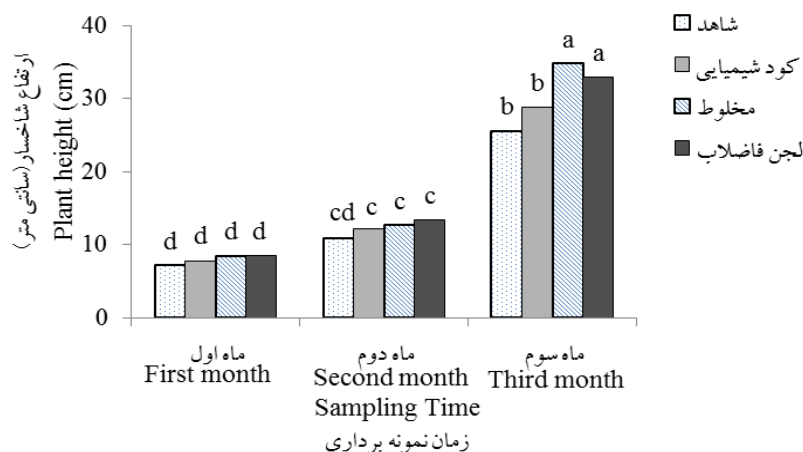
فسفر قابل استخراج با آب بخشی از فسفر معدنی خاک بوده که قابلیت جذب بالایی توسط گیاهان دارد و به همین دلیل افزایش آن در خاک، فراهمی فسفر را افزایش می‌دهد (۲۵). کاربرد تیمارهای کودی توانست به طور معنی-داری (در سطح ۵ درصد) فسفر قابل استخراج با آب را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دهد (شکل ۴). اگرچه تیمار لجن فاضلاب بیشترین مقدار فسفر قابل استخراج با آب (۶/۹۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) را به خود اختصاص داد، ولی تفاوت معنی‌داری را با سایر تیمارهای کودی نشان نداد. به نظر می‌رسد که در حین تجزیه مواد آلی، اسیدهای آلی و مواد هومیکی تولید شده سبب کاهش pH و افزایش فراهمی فسفر در

2-Waldrip-Dail *et al.*

1-Nielson *et al.*

P با گذشت زمان در تیمار لجن فاضلاب و تیمار مخلوط در مقایسه با کود شیمیایی کمتر می‌باشد. این نتایج نشان می‌دهد که کاربرد لجن فاضلاب به همراه کودهای فسفوری سبب کاهش تثبیت فسفر توسط اجزای خاک و افزایش قابلیت دسترسی فسفر در خاک شده است.

فاضلاب و همچنین معدنی شدن فسفر آلی نسبت دادند. در کلیه تیمارهای کودی با گذشت زمان فسفر قابل استخراج با بیکربنات سدیم به طور معنی‌داری کاهش یافت. دلیل کاهش معنی‌داری $\text{NaHCO}_3\text{-P}$ با گذشت زمان را می‌توان ناشی از تبدیل این بخش از فسفر به شکل‌های پایدارتر فسفر معدنی مانند فسفات‌های کلسیم و همچنین جذب این بخش از فسفر توسط گیاه نسبت داد. نتایج نشان داد که مقدار کاهش در $\text{NaHCO}_3\text{-P}$



شکل (۳) اثرات تیمارهای کودی بر ارتفاع شاخسار گندم با گذشت زمان (ستون‌های دارای حروف مشابه در سطح ۵ درصد معنی‌دار نیستند)

Figure (3) The effects of fertilizer treatments on plant height with time (Columns followed by the same letter are not significantly different at $P > 0.05$)

جدول (۴) نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای مختلف بر شکل‌های مختلف فسفر

Table (4) ANOVA results of the effects of different treatments on phosphorus forms

HCl-P	NaOH-P	$\text{NaHCO}_3\text{-P}$	$\text{H}_2\text{O-P}$	(df)	درجه آزادی	منابع تغییرات (S.O.V)
2957.0**	2815.4**	2330.8**	30.4**	3		تیمار کودی (Treatment)
14007.6**	8899.7**	1488.3**	6.8**	2		زمان (Time)
187.6**	252.9**	79.3**	0.53 ns	6		تیمار کودی*زمان (Treatment*Time)

* و ** معنی‌دار در سطح ۵ درصد و یک درصد.

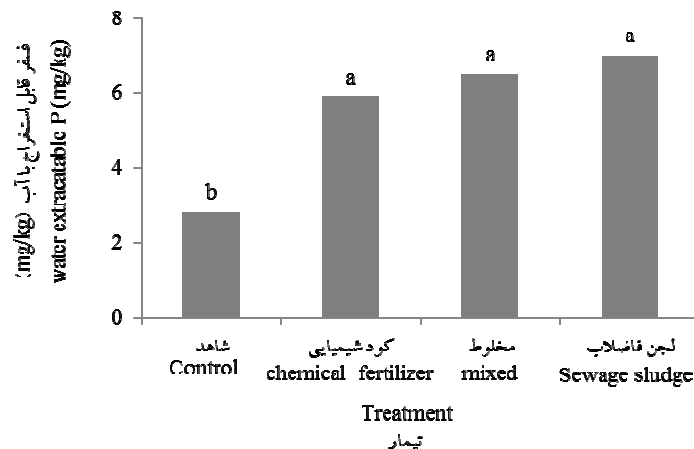
*: significant at $P < 0.05$; **: significant at $P < 0.01$.

$\text{H}_2\text{O-P}$: فسفر قابل استخراج با آب، $\text{NaHCO}_3\text{-P}$: فسفر قابل استخراج با بیکربنات سدیم، NaOH-P: فسفر قابل استخراج با سود

و HCl-P: فسفر قابل استخراج اسید کلریدریک

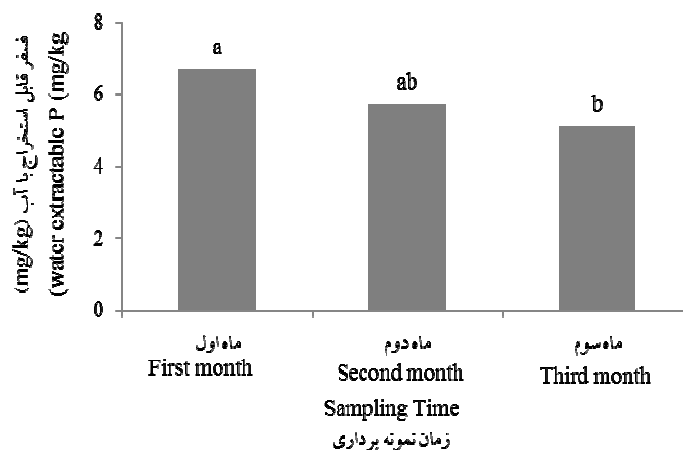
$\text{H}_2\text{O-P}$: water extractable P; $\text{NaHCO}_3\text{-P}$: NaHCO_3 extractable P; NaOH: NaOH extractable P; HCl-P: HCl extractable P

معینی و همکاران: ارزیابی وضعیت فسفر در یک خاک شور...



شکل (۴) اثرات اصلی تیمارهای کودی بر فسفر قابل استخراج با آب (ستون‌های دارای حروف مشابه در سطح ۵ درصد معنی-دار نیستند)

Figure (4) The main effects of fertilizer treatments on water extractable-P (Columns followed by the same letter are not significantly different at $P>0.05$)



شکل (۵) اثرات اصلی زمان بر فسفر قابل استخراج با آب (ستون‌های دارای حروف مشابه در سطح ۵ درصد معنی‌دار نیستند)

Figure (5) The main effects of time on water extractable-P (Columns followed by the same letter are not significantly different at $P>0.05$)

در مقایسه با تیمار شاهد شد (شکل ۷). در پایان ماه اول و دوم بیشترین مقدار NaOH-P در تیمار مخلوط (لجن فاضلاب+ کود فسفوری) اندازه‌گیری شد در حالی که در پایان ماه سوم تفاوت معنی‌داری (در سطح ۵ درصد) بین تیمار لجن فاضلاب و تیمار مخلوط از لحاظ NaOH-

فسفر قابل استخراج با سود

فسفر قابل استخراج با سود بخشی از فسفوری است که توسط اکسیدهای آهن و آلومینیوم تثبیت شده و به راحتی برای گیاه قابل جذب نمی‌باشد (۱۱). در تمامی زمان‌ها کاربرد لجن فاضلاب به صورت مستقل و به صورت تلفیقی با کود فسفوری سبب افزایش معنی‌دار NaOH-P

خاک مورد مطالعه باشد. دلیل اصلی گسترش کمبود فسفر در خاک‌های آهکی ایران، تثبیت این عنصر توسط کربنات کلسیم گزارش شده است. در مطالعه‌ای که توسط کلاه‌چی و جلالی^۲ (۱۷) در خاک‌های آهکی استان همدان انجام شد، فسفر قابل استخراج با اسید به عنوان غالب-ترین شکل فسفر معدنی شناخته شد. به استثنای کود شیمیایی در ماه اول در سایر زمان‌ها کاربرد تیمارهای کودی سبب افزایش معنی‌دار HCl-P در مقایسه با تیمار شاهد شد (شکل ۸). در ماه-های اول و دوم بیشترین مقدار HCl-P در تیمار لجن فاضلاب و مخلوط مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند در حالی که در ماه سوم تیمار لجن فاضلاب از لحاظ HCl-P بیشترین مقدار را نسبت به سایر تیمارها دارا بود. مطالعات سفیدگر شاه‌کلایی و همکاران (۲۹) نیز نشان داد که در خاک تیمار شده با لجن فاضلاب، فسفات‌های کلسیم بیش از ۵۰ درصد از فسفر معدنی را به خود اختصاص داده‌اند. شوارتز و دائو^۳ (۳۰) گزارش کردند که کلسیم موجود در بقایای آلی نظیر لجن فاضلاب سبب کاهش حلالیت فسفر و تجمع فسفات‌های کلسیم در خاک می‌شود. همچنین ورما و همکاران^۴ (۳۳) افزایش فسفات‌های کلسیم در خاک در اثر کاربرد کود سوپر فسفات تریپل را به کلسیم موجود در این کود نسبت داده‌اند.

P مشاهده نشد. در ماه دوم بیشترین میزان NaOH-P مربوط در تیمار مخلوط (۱۰۸/۵۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و بعد از آن در تیمار لجن فاضلاب (۹۸/۵۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، کود شیمیایی (۷۸/۴۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و کمترین میزان در تیمار شاهد (۶۴/۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) اندازه‌گیری شد. دلیل افزایش فسفر قابل استخراج با سود را می‌توان ناشی از کاربرد کلرید آهن در طی فرایند تصفیه لجن فاضلاب ذکر کرد (۱۶). در کلیه تیمارهای کودی، مقدار NaOH تا ماه دوم افزایش و سپس کاهش یافت. نتایج ردی و همکاران (۲۵) نیز نشان داد که کاربرد بقایای گیاهی در خاک در زمان‌های ابتدایی سبب افزایش و سپس کاهش فسفر قابل استخراج با سود شد. اختر و همکاران^۱ (۱) نیز ایجاد شرایط بی‌هوازی موقت در اثر استفاده از لجن فاضلاب و تشکیل اکسی‌هیدروکسی‌های آمورف آهن در خاک را عامل افزایش فسفر قابل استخراج با سود در خاک ذکر کردند.

فسفر قابل استخراج با اسید کلریدریک

فسفر قابل استخراج با اسید کلریدریک نشان‌دهنده آن بخشی از فسفر می‌باشد که توسط کربنات کلسیم و عمدتاً به شکل آپاتیت رسوب کرده‌است و به همین دلیل قابلیت جذب بسیار پایینی برای گیاهان دارد (۳۶). این بخش از فسفر بیشترین مقدار را در بین سایر شکل‌ها به خود اختصاص داد که می‌تواند ناشی از ماهیت آهکی

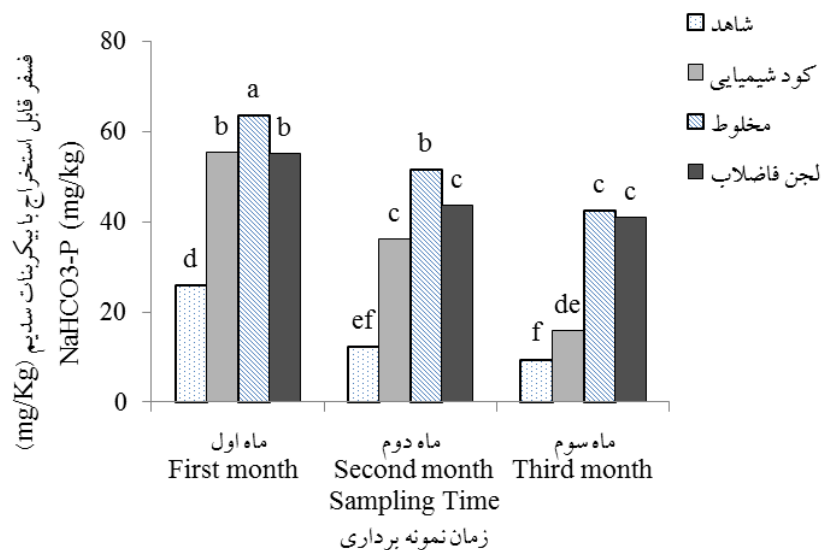
2- Kolahchi and Jalali

3- Schwartz and Dao

4- Verma *et al.*

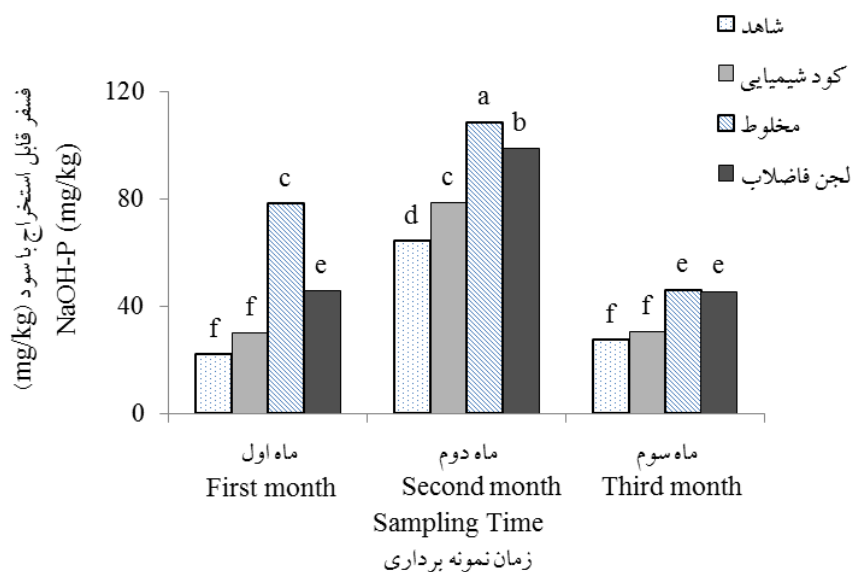
1- Akhtar *et al.*

معینی و همکاران: ارزیابی وضعیت فسفر در یک خاک شور...



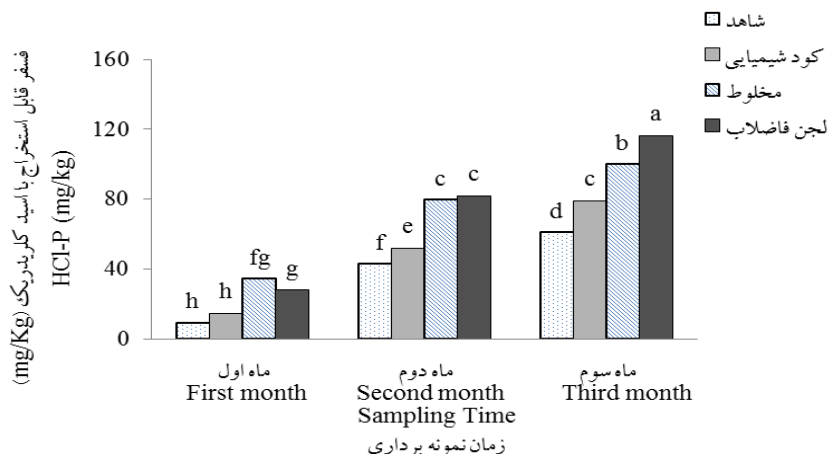
شکل (۶) اثرات تیمارهای کودی بر فسفر قابل استخراج با بیکربنات سدیم با گذشت زمان (ستون‌های دارای حروف مشابه در سطح ۵ درصد معنی‌دار نیستند)

Figure (6) The effects of fertilizer treatments on NaHCO₃ extractable-P with time (Columns followed by the same letter are not significantly different at $P>0.05$)



شکل (۷) اثرات تیمارهای کودی بر فسفر قابل استخراج با سود با گذشت زمان (ستون‌های دارای حروف مشابه در سطح ۵ درصد معنی‌دار نیستند)

Figure (7) The effects of fertilizer treatments on NaOH-extractable P with time (Columns followed by the same letter are not significantly different at $P>0.05$)



شکل (۸) اثرات تیمارهای کودی بر فسفر قابل استخراج با اسید کلریدریک با گذشت زمان (ستون‌های دارای حروف مشابه در سطح ۵ درصد معنی دار نیستند)

Figure (8) The effects of fertilizer treatments on HCl extractable-P with time (Columns followed by the same letter are not significantly different at $P>0.05$)

تیمار مخلوط سبب افزایش فسفر شاخسار گندم نسبت به تیمار شاهد شد که نشان از کارایی بیشتر این تیمار در تأمین فسفر مورد نیاز گیاه دارد. افزایش غلظت فسفر در گیاه پس از کاربرد کودهای آلی و شیمیایی در مطالعات دیگر نیز گزارش شده است (۸ و ۲۴). در تمامی تیمارهای کودی با گذشت زمان غلظت فسفر شاخسار به طور معنی داری کاهش و در پایان ماه سوم به کمترین مقدار خود رسید. دلیل کاهش غلظت فسفر شاخسار می‌تواند ناشی از رشد بیشتر گندم در تیمارهای کودی و اثر رقت باشد به طوری که در تیمار لجن فاضلاب و تیمار مخلوط به دلیل رشد رویشی بیشتر درصد کاهش غلظت فسفر شاخسار با گذشت زمان بیشتر بود.

میزان فسفر جذب شده شاخسار از حاصلضرب غلظت فسفر شاخسار در ماده خشک شاخسار محاسبه گردید. نتایج نشان داد که اثرات اصلی تیمارهای کودی و زمان و اثر

در تمامی تیمارهای کودی، گذشت زمان سبب افزایش HCl-P شد. این افزایش می‌تواند ناشی از تبدیل سایر شکل‌های فسفر به این شکل پایدار باشد. کاربرد کود شیمیایی، لجن فاضلاب و مخلوط در ماه سوم به ترتیب سبب افزایش ۴/۴۱، ۳/۱۷ و ۱/۹۰ برابری در مقایسه با ماه اول شد. کاربیرا و همکاران (۳) گزارش دادند که کربنات‌ها نقش مؤثری در رسوب فسفر بصورت فسفات‌های کلسیم و کاهش قابلیت جذب این عنصر در خاک دارند.

غلظت و جذب فسفر در شاخسار

غلظت و جذب فسفر در شاخسار به طور معنی داری (در سطح یک درصد) تحت تأثیر تیمارهای کودی، زمان و اثر متقابل آن‌ها قرار گرفت (جدول ۵). در پایان ماه‌های اول و دوم کاربرد کود فسفوری، لجن فاضلاب و مخلوط آن‌ها سبب افزایش غلظت فسفر شاخسار گندم در مقایسه با شاهد شد. در پایان ماه سوم تنها

معینی و همکاران: ارزیابی وضعیت فسفر در یک خاک شور...

متقابل آن‌ها بر جذب فسفر معنی‌دار است (جدول ۵). در پایان ماه اول تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای کودی با شاهد از نظر جذب فسفر مشاهده نشد. در پایان ماه دوم تیمارهای کودی سبب افزایش جذب فسفر توسط شاخسار گندم شد و بیشترین میزان جذب فسفر (۰/۳۶ گرم در گلدان) در تیمار مخلوط مشاهده شد. در ماه سوم تیمارهای لجن فاضلاب و مخلوط به یک نسبت

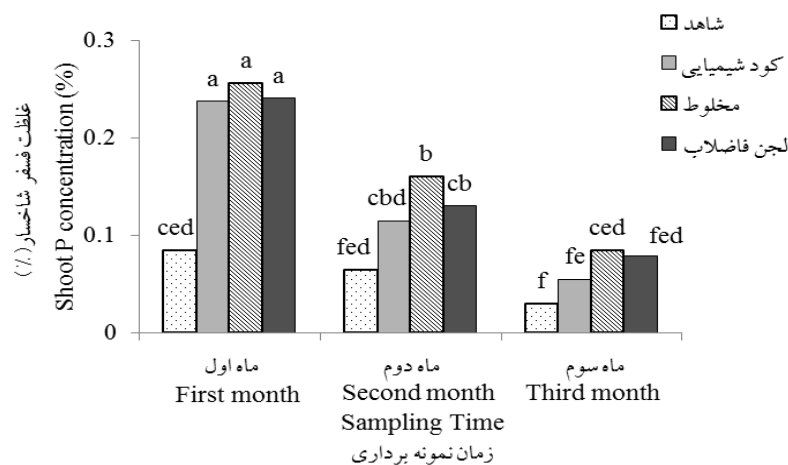
سبب افزایش جذب فسفر توسط شاخسار شدند. با گذشت زمان میزان جذب فسفر افزایش یافت و در پایان ماه سوم در تمام تیمارهای کودی بیشترین میزان جذب فسفر اندازه‌گیری شد. از دلایل اصلی افزایش جذب فسفر در شاخسار با گذشت زمان را به رشد بیشتر ریشه گیاه و دسترسی بیشتر آن به فسفر در خاک می‌توان نسبت داد.

جدول (۵) نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای مختلف بر غلظت فسفر و جذب فسفر شاخسار.
Table (5) ANOVA results of the effects of different treatments on shoot P concentration and uptake

منابع تغییرات (S.O.V)	درجه آزادی (df)	غلظت فسفر شاخسار (Shoot P concentration)	جذب فسفر شاخسار (Shoot P uptake)
تیمار کودی (Treatment)	3	0.02**	0.18**
زمان (Time)	2	0.06**	0.36**
تیمار کودی*زمان (Treatment*Time)	6	0.002**	0.05**

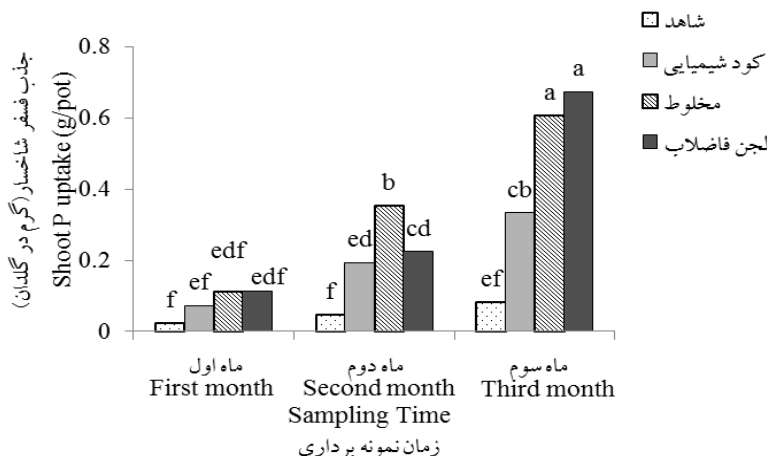
* و ** معنی‌دار در سطح ۵ و یک درصد

*: significant at $P < 0.05$; significant at $P < 0.01$



شکل (۹) اثرات تیمارهای کودی بر غلظت فسفر شاخسار با گذشت زمان (ستون‌های دارای حروف مشابه در سطح ۵ درصد معنی‌دار نیستند)

Figure (9) The effects of fertilizer treatments on shoot P concentration with time (Columns followed by the same letter are not significantly different at $P > 0.05$)



شکل (۱۰) اثرات تیمارهای کودی بر جذب فسفر توسط شاخسار با گذشت زمان (ستون‌های دارای حروف مشابه در سطح ۵ درصد معنی‌دار نیستند)

Figure (10) The effects of fertilizer treatments on shoot P uptake with time (Columns followed by the same letter are not significantly different at $P>0.05$)

فسفر قابل استخراج با بیکربنات سدیم شاخص خوبی از فسفر قابل جذب گیاه می‌باشد. جذب فسفر با هیچ یک از شکل‌های فسفر معدنی همبستگی معنی‌داری نداشت. در مطالعه‌ای که توسط حیدری و همکاران (۱۲) در تعدادی از خاک‌های استان آذربایجان شرقی انجام شد فسفر قابل استخراج با بیکربنات با غلظت فسفر در ذرت همبستگی مثبت و معنی‌داری را نشان داد. همچنین نتایج آن‌ها نشان داد که میزان جذب فسفر توسط ذرت با هیچ یک از شکل‌های معدنی فسفر ارتباط معنی‌داری ندارند.

بررسی ارتباط شکل‌های فسفر با شاخص‌های گیاهی

نتایج ضریب همبستگی بین پاسخ‌های گیاهی با شکل‌های فسفر معدنی در جدول (۶) نشان داده شده است. نتایج نشان داد که ویژگی‌های رشدی گندم شامل وزن تر، خشک و ارتفاع شاخسار همبستگی بالایی با فسفر قابل استخراج با اسید داشتند. کامپراس و واتسون^۱ (۱۴) نیز نشان دادند که در خاک‌های آهکی، فسفات‌های کلسیم جذب شده بر سطح کربنات‌های کلسیم با رشد گیاه همبستگی بالایی دارند. از بین شکل‌های فسفر، تنها H_2O-P و $NaHCO_3-P$ همبستگی معنی‌داری را با غلظت فسفر شاخسار نشان دادند که بیشترین ضریب همبستگی بین $NaHCO_3-P$ و غلظت فسفر شاخسار ($r = 0.83$) اندازه‌گیری شد. بر همین اساس می‌توان نتیجه گرفت که در این مطالعه

معینی و همکاران: ارزیابی وضعیت فسفر در یک خاک شور...

جدول (۶) ضرایب همبستگی بین شکل‌های فسفر با ویژگی‌های رشدی گندم

Table (6) Correlation coefficients of phosphorus forms and wheat growth characteristics

HCl-P	NaOH-P	NaHCO ₃ -P	H ₂ O-P	
0.89**	-0.09 ns	-0.14 ns	0.04 ns	وزن تر شاخسار (Shoot fresh weight)
0.84**	-0.19 ns	0.15 ns	0.04 ns	وزن خشک شاخسار (Shoot dry weight)
0.81**	-0.28 ns	-0.31 ns	-0.16 ns	ارتفاع شاخسار (Plant height)
-0.44**	0.26 ns	0.83**	0.57**	غلظت فسفر شاخسار (Shoot P concentration)
0.09 ns	0.10 ns	0.16 ns	0.25 ns	جذب فسفر شاخسار (Shoot P uptake)

* و ** معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد و ns غیر معنی‌دار

*: significant at $P < 0.05$; **: significant at $P < 0.01$; ns: non-significant.

H₂O-P: فسفر قابل استخراج با آب، NaHCO₃-P: فسفر قابل استخراج با بیکربنات سدیم، NaOH-P: فسفر قابل استخراج با سود

و HCl-P: فسفر قابل استخراج اسید کلریدریک

H₂O-P: water extractable P; NaHCO₃-P: NaHCO₃ extractable P; NaOH: NaOH extractable P;

HCl-P: HCl extractable P

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که کاربرد لجن فاضلاب به صورت تلفیقی با کود فسفوری اثرات بهتری در افزایش عملکرد گندم و جذب فسفر در مقایسه با تیمار مستقل لجن فاضلاب و کود فسفوری دارد. اگرچه استفاده از تیمارهای کودی سبب افزایش تمامی شکل‌های فسفر معدنی در خاک شد ولی با گذشت زمان شکل‌های قابل دسترس فسفر شامل فسفر قابل استخراج با آب و قابل استخراج با بیکربنات سدیم کاهش و در مقابل

فسفر قابل استخراج با اسید افزایش یافت. از بین شکل‌های فسفر، فسفر قابل استخراج با آب و فسفر قابل استخراج با بیکربنات سدیم همبستگی بالایی با غلظت فسفر گندم داشتند و به همین دلیل مجموع این دو شکل فسفر معدنی به عنوان شکل قابل دسترس فسفر در خاک و از منابع اصلی فسفر قابل جذب گندم محسوب شناخته می‌شوند.

منابع

1. Akhtar, M.D., Mcallister, L., and Eskridge, K.M. 2002. Availability and fractionation of phosphorus in sewage sludge amended soils. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, 33: 2057-2068.
2. Ahmadpoor, S.R., Bahamnyar, M.A., Gilani, S.S., and Forghani, A. 2011. Chemical characteristic, enzyme activity of *urease* and *alkaline phosphatase* in a soil amended with sewage sludge and sewage sludge enrichment with chemical fertilizer. *Journal of Water and Soil Conservation*, 18:103-122. (In Persian with English abstract)
3. Carreira, J.A., Vinegla, B., and Iajtha., K. 2006. Secondary CaCO₃ and precipitation of Ca-P compounds control the retention of soil P in and ecosystems. *Journal of Arid Environments*, 64: 460-473.
4. Chapman, H.D. and Pratt, P.F. 1982. *Methods of Analysis for Soils, Plants and Water*. Chapman Publisher Riverside, CA.
5. Chang, S.C. and Jackson, M.L. 1957. Fractionataion of soil phosphorus. *Soil Science*, 84:133-144.
6. Gavalda, D., Scheiner, J.D., Revel, J.C., Merlina, G., Kaemmerer, M., Pinelli, E., and Guiesse, M. 2005. Agronomic and environmental impacts of a single application of heat dried sludge on an Alfisol. *Science of the Total Environment*, 343: 97-109.
7. Ghorbani, M.H., Zinali, E., Soltani, A., and Galeshi, S. 2004. The effect of salinity stress on growth, yield and grain yield components in two wheat cultivars. *Journal of Agricultural Science and Natural Research*, 10: 5-13.
8. Ghorshi, L., Haghnia, G.H., Lakzian, A., and Khorasani, R. 2012. Intraction of lime, organic manure and iron on phosphorus uptake in maize. *Journal of Water and Soil*, 26: 1083-1091. (In Persian with English abstract).
9. Grattan, S.R. and Grieve, C.M. 1992. Mineral nutrient acquisition and response by plants grown in saline environments. In: Pessaraki, M. (ed.). *Handbook of plant and cold stress*. pp. 203-226.
10. Guo, F., Yost, R.S., Hue, N.V., Evensen, C.I., and Silva, J.A. 2000. Changes in phosphorus fractions in soils under intensive plant growth. *Soil Science Society of America Journal*, 64: 1681-1689.
11. Hedley, M.J., Stewart, J.W.B., and Chauhan, B.S. 1982. Charges in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubation. *Soil Science Society of America Journal*, 46:970-976.
12. Heydari, N., Reyhanitabar, A., Najafi, N., and Oustan, Sh. 2013. Relationships between inorganic and organic phosphorus fractions with corn growth and phosphorus uptake in some soils of East Azerbaijan Province. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 3:237-250. (In Persian with English abstract).

13. Hojjati, S., Noorbakhsh, F., and Khavazi, K. 2006. Effects of Sewage Sludge on soil microbial biomass index, enzyme activities and yield of *Zea mays*. Journal of Soil and Water Science, 20: 84-93. (In Persian with English abstract).
14. Kamprath, E.J. and Watson, M.E. 1980. Conventional soil and tissue tests for assessing the phosphorus status soils. P 433-469, In: Khasawneh et al. (eds), The Role of Phosphorus in Agriculture. ASA, CSSA, SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
15. Khorshid, M., Hosseinpur, A., and Oustan, S. 2009. Impacts of sewage sludge on phosphorus sorption characteristics and its availability in some calcareous soils. Journal of Sciences and Technology of Agricultural and Natural Research, 12: 791-802. (In Persian with English abstract)
16. Kidd, P.S., Domínguez-Rodríguez, M.J., Díez, J., and Monterroso, C. 2007. Bioavailability and plant accumulation of heavy metals and phosphorus in agricultural soils amended by long-term application of sewage sludge. Chemosphere, 66: 1458-1467.
17. Kolahchi, Z. and Jalali, M. 2012. Speciation of phosphorus in phosphorus-amended and leached calcareous soils using chemical fractionation. Polish Journal of Environmental Studies, 21: 393-398.
18. Murphy, J. and Riley, J.P. 1962. A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. Analytical Chimica Acta, 27:31-36.
19. Nielson, G.H., Hogue, E.J., Nielson, D., and Zebarth, B.J. 1998. Evaluation of organic wastes as soil amendments for cultivation of carrot and chard on irrigated sandy soils. Canadian Journal of Soil Science, 78: 217-225.
20. Ojo, A.O., Adetunji, M.T., Okeleye, K.A., and Adejuyigbe, C.O. 2014. Changes in Phosphorus Fractions in Manure and Phosphorus Fertilizer Amended Soil of Southwestern Nigeria. International Journal of Plant and Soil Science, 3: 71-84.
21. Oraei, M., Tabatabaei, S.J., Fallahi, E., and Imani, A. 2009. The effects of salinity stress and rootstock on the growth, photosynthetic rate, nutrient and sodium concentrations of almond (*Prunus dulcis* Mill.). Journal of Horticultural Sciences, 23: 131-140. (In Persian with English abstract)
22. Poustini, K. and Aboutalebian, M.A. 2001. Phosphorus uptake and distribution responses of two wheat cultivars to salinity stress. Iranian Journal of Agricultural Science, 32: 599-606. (In Persian with English abstract).
23. Raghothama, K.G. and Karthikeyan, A.S. 2005. Phosphate acquisition. Plant and Soil, 274: 37-49.
24. Rashid, M., Ranjha, A.M., Waqas, M., Hannan, A., Bilal, A., Saeed, A., and Zafar, M. 2007. Effect of P fertilization on yield and quality of oat (*Avena sativa* L.) fodder on two different textured calcareous soils. Soil and Environment, 26: 33-41.

25. Reddy, D.D., Rao S.A., and Singh, M. 2005. Changes in P fractions and sorption in an alfisol following residues application. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 168:241-247.
26. Samavati, M. and Hosseinpour, H. 2011. Phosphorus Fractions and Availability in Some Calcareous Soils in Hamedan Province. *Journal of Sciences and Technology of Agriculture and Natural Research*, 15: 127-138. (In Persian with English abstract)
27. Scherer, H.W. and Sharma, S.P. 2002. Phosphorus fractions and phosphorus delivery potential of a luvisol derived from loess amended with organic materials. *Biology and Fertility of Soils*, 35:414-419.
28. Schroder, J.L., Zhang, H., Zhou, D., Besta, N., Raun, W.R., Payton, M.E., and Zazulak, A. 2008. The effect of long-term annual application of biosolids on soil properties, phosphorus and metals. *Soil Science Society of America Journal*, 72:73-82.
29. Sefidgar Shahkolaie, S., Barani Motlagh, M., and Dordipour, E. 2013. Availability and fractionation of inorganic phosphorus in a sewage sludge-amended calcareous soil. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 3:53-73. (In Persian with English abstract).
30. Schwartz, R.C. and Dao, T.H. 2005. Phosphorus extractability of soils amended with stockpiled and composted cattle manure. *Journal of Environmental Quality*, 34:970-978.
31. Sui, Y.B. and Thompson, M.L. 2000. Phosphorus sorption desorption and buffering capacity in a biosolids. amended Mollisol. *Soil Science Society of America Journal*, 64: 164-169.
32. Sui, Y., Thompson, M.L., and Shang, C. 1999. Fractionation of phosphorus in a mollisol amended with biosolids. *Soil Science Society of America Journal*, 63:1174-1180.
33. Verma, S., Subehia, S.K., and Sharma, S.P. 2005. Phosphorus fractions in an acid soil continuously fertilized with mineral and organic fertilizers. *Biology and Fertility of Soils*, 41:295-300.
34. Waldrip-Dail, H., He, Z., Susan Erich, M., and Honeycutt, W.C. 2009. Soil phosphorus dynamics in response to poultry manure amendments. *Soil Science*, 174:195-201.
35. Wandruszka R.V. 2006. Phosphorus retention in calcareous soils and the effect of organic matter on its mobility. *Geochemical Transactions*, 7:6p.
36. Wang, J., Liu, W.Z. Mu, H.F., and Dang, T.H. 2010. Inorganic phosphorus fractions and phosphorus availability in a calcareous soil receiving 21-year superphosphate application. *Pedosphere*, 20: 304-310.
37. Zamani Babgohari, J., Afyuni, M., Khoshgoftarmaneh, A.H., and Eshghizadeh, H.R. 2011. Effect of Polyacryl sewage sludge, municipal compost and cow manure on soil properties and maize yield. *Journal of Sciences and Technology of Agriculture and*

- Natural Research. Water and Soil Science, 14: 153-166. (In Persian with English abstract)
38. Zhu, X.K., Li, C.Y., Jiang, Z.Q., Huang, L.L., Feng, C.N., Guo, W.S., and Peng, Y.X. 2012. Responses of phosphorus use efficiency, grain yield, and quality to phosphorus application amount of weak-gluten wheat. *Journal of Integrative Agriculture*, 11: 1103-1110.