نشریه علمی ترویجی مدیریت اراضی/ جلد ۷ / شماره ۱ / ۱۳۹۸

10.22092/lmj.2019.100913.22

لحاظ آزمون خاک و شاخص محیط‌زیستی در مدیریت مصرف کودهای فسفاتی

محمد پسندیده [۱] ، محمد جعفر ملکوتی، کریم شهبازی و زهرا محمداسماعیل

دانشجوی دکتری دانشگاه تربیت مدرس و عضو هیات علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان).
Mpassandideh@yahoo.com

استاد گروه خاکشناسی دانشگاه تربیت مدرس تهران. **Mjmalakouti@modares.ac.ir**

دانشیار موسسه تحقیقات خاک و آب. **Shahbazikarim@ yahoo.com**

محقق موسسه تحقیقات خاک و آب. **Mesmaily_n@yahoo.com**

دریافت: مرداد ۱۳۹٤ و پذیرش: مرداد ۱۳۹٦

چکیده

طبق مطالعات انجام‌شده، ۷۱/۸ درصد اراضی کشاورزی کشور دارای فسفر قابل‌جذب کمتر از ۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. ازطرف‌دیگر، مصرف بیش‌ازحد کودهای فسفاتی در خاک‌های آهکی، افزون‌بر ارزبری فراوان، موجب انباشتگی فسفر و کاهش جذب ریزمغذی‌ها به‌ویژه روی (Zn) در محصولات کشاورزی می‌شود. از کودهای فسفاتی مصرفی تنها ۱۵ تا۲۰درصد توسط گیاهان در هر سال جذب می‌شود و مابقی در خاک‌های زراعی با pH بالا و آهکی تثبیت و باعث افزایش فسفرکل خاک می‌شود که می‌تواند باعث بروز مسائل و مشکلات محیط‌زیستی در برخی مناطق که نزدیک به دریاچه بوده ویا آب‌های سطحی به‌عنوان آب شرب استفاده می‌شود، گردد. بدین‌ترتیب، بایستی به‌دنبال شاخص‌هایی بود تا درعین اینکه نیاز گیاه را درنظر می‌گیرد، مانع از معضلات محیط‌زیستی گردد. از دیگرسو، آزادشدن فسفر در خاک‌های آهکی به‌مراتب آسان‌تر از خاک‌های اسیدی است. زیرا، انرژی اتصال یون فسفات به کلسیم پنج مرتبه کمتر از انرژی اتصال آن به آهن و آلومینیم است. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که مصرف کودهای فسفاتی باید مبتنی بر نتایج تجزیه خاک بوده و در توصیه مصرف کودهای فسفاتی، ضمن توجه به حدبحرانی آن، به مقدار فسفرکل خاک نیز توجه کرد. بنابراین، در خاک‌های زراعی که با انباشتگی فسفر روبه‌رو بوده و شاخص محیط‌زیستی اجازه مصرف کود را نمی‌دهد، می‌توان با اعمال روش‌هایی مناسب از جمله مصرف کودهای فسفاتی بر پایهٔ نتایج تجزیه خاک، افزایش مواد آلی و استفاده از کودهای زیستی حل‌کننده فسفات امکان استفاده از فسفر غیرقابل‌جذب خاک را افزایش داده و ضمن تأمین فسفر موردنیاز گیاه و پایداری تولید و بهینه‌سازی مصرف کود از مخاطرات محیط‌زیستی پیشگیری نمود.

واژه‌های کلیدی: فسفر، فسفرکل، شاخص محیط‌زیستی، کودهای زیستی

---

[۱] – آدرس نویسنده مسئول: مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)

مقدمه

با نگاه چندجانبه به شیمی خاک، تغذیه گیاه و مسائل محیط‌زیستی درخصوص کودهای فسفاتی، می‌توان نتیجه گرفت که مصرف این نوع کودها در خاک‌های آهکی به روش مرسوم جای تأمل دارد. علی‌رغم پیچیدگی شیمی فسفر در خاک‌های آهکی، ترکیب فسفات با کربنات‌کلسیم و تشکیل رسوب فسفات‌کلسیم موضوع علمی ثابت‌شده‌ای است (مارشنر، ۱۹۹۵). در این خصوص تحقیقات نشان داده است که فقط ۱۰ تا ۲۵ درصد از کودهای فسفاتی اضافه‌شده به خاک، برای گیاه قابل جذب بوده و بقیه آن (۷۵ تا ۹۰ درصد) به‌دلایلی از جمله وجود کربنات‌کلسم در خاک‌های آهکی‌بودن، بالابودن اسیدیته، تنش خشکی، وجود بی‌کربنات در آب آبیاری و کمبود مواد آلی، عمدتاً به صورت رسوب فسفات‌کلسیم درآمده و از دسترس گیاه خارج می‌شود (ملکوتی، ۱۳۹۷). این موضوع در کشت‌های طولانی‌مدت، سبب افزایش فسفرکل خاک‌ها شده و موجب بروز یکسری مشکلات اقتصادی، تغذیه‌ای و محیط زیستی می‌گردد.

یکی از مهم‌ترین پیامدهای مصرف مداوم و طولانی‌مدت کودهای فسفاته و درنتیجه افزایش فسفرکل خاک‌ها، کاهش کیفیت آب‌های سطحی و مشکلات محیط‌زیستی مربوط به آن است. وقتی فسفرکل خاک‌ها افزایش پیدا می‌کند، عواملی همچون روان‌آب و فرسایش خاک می‌تواند فسفر را به شکل محلول و یا همراه با ذرات خاک به آب‌های سطحی و یا دریاچه‌ها انتقال داده و باعث بروز آب‌تباهی[۲] شود (شارپلی و همکاران، ۱۹۹۹). آب‌تباهی به فرایندی گفته می‌شود که در اثر اضافه شدن عناصر غذایی همچون نیتروژن و فسفر در مرداب‌ها، تالاب‌ها و دریاچه‌ها، رشد جلبک‌ها و آزولا بیش از اندازه شده و باعث بروز یکسری مسائل محیط‌زیستی نظیر کاهش اکسیژن آب و تلف‌شدن ماهی‌ها می‌گردد. بدیهی است برای جلوگیری از شدت‌یافتن آب‌تباهی آب‌های سطحی، کنترل و کاهش ورود عناصر مذکور (نیتروژن و فسفر) از جانب دانشمندان محیط‌زیست به عنوان راهکاری موثر پیشنهاد شده است. لازم به‌توضیح است که برای کنترل آب‌تباهی، اهمیت و تاثیر فسفر به‌مراتب بیشتر از نیتروژن بوده و حتی گاها به‌عنوان تنها راه‌کار موثر نیز پیشنهاد شده است؛ زیرا در آب‌های سطحی به دلیل اینکه در تماس با اتمسفر زمین (که بخش قابل‌توجهی از ترکیب آن به گاز N2 اختصاص دارد) هستند، کنترل و کاهش نیتروژن کاری مشکل است. علاوه‌بر آب‌تباهی، براساس گزارش‌های علمی، در مناطقی که آب‌های سطحی غنی‌شده با فسفر، به‌عنوان آب شرب مورد استفاده قرار می‌گیرد، سلامت مردمان آن منطقه به شکل‌های مختلف از جمله بیماری‌های عصبی درخطر خواهد بود (شارپلی و همکاران، ۱۹۹۹). به‌طور کلی با توجه به مطالب گفته‌شده، می‌توان گفت در مناطقی که دارای دریاچه بوده و یا آب‌های سطحی برای مصرف شهری بکار می‌روند، بررسی شاخص‌های محیط‌زیستی مربوط به تجمع فسفر در خاک ضروریست.

تحقیقات انجام شده درخصوص انباشتگی فسفر در خاک

تحقیقات انجام شده در سال‌های اخیر، نشان می‌دهد در مناطقی که به مدت طولانی کود فسفاتی مصرف شده است، تجمع فسفر دور از انتظار نیست. در این خصوص پسندیده و همکاران (۱۳۹۷) در تحقیقی که به‌منظور بررسی شاخص محیط‌زیستی فسفرکل در پارس‌آباد مغان انجام داده بودند، مقدار فسفرکل خاک را در ۹۰ نمونه خاک به روش ذوب قلیایی اندازه‌گیری کرد و میانگین ۱۱۸۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش کردند. همچنین در نتیجه‌های یکسری آزمایش‌ها که برای تعیین شکل‌های مختلف فسفر خاک انجام شده بود، به مقدار فسفرکل خاک در استان‌های مختلف کشور نیز اشاره شده است. به طوریکه، فسفرکل خاک‌ها به مقادیر ۷۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم در استان اصفهان (دهقان، ۱۳۸۶)، ۷۳۱

2 - Utrification

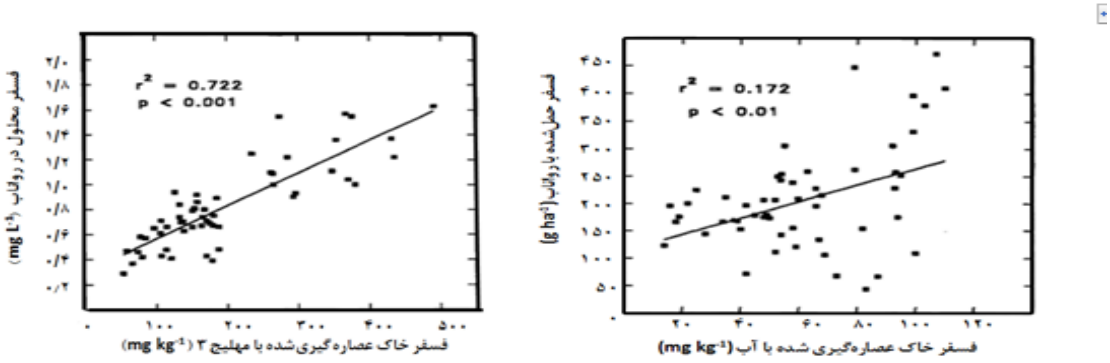
میلی‌گرم بر کیلوگرم در استان گلستان (نقی‌زاده اصل و همکاران، ۱۳۹۰)، ۷۷۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم در استان آ. شرقی (حیدری و همکاران، ۱۳۹۲)، ۵۶۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم در استان گیلان (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۰)، ۵۹۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم در استان فارس (سلطانی و صمدی، ۱۳۸۲)، ۸۴۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم در استان قزوین (مستشاری و همکاران، ۱۳۸۸) و ۱۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در استان همدان (سمواتی و حسین پور، ۱۳۹۰) گزارش شده است. این درحالی‌است که طبق مطالعات شهبازی و بشارتی (۱۳۹۲) با درنظرگرفتن حد بحرانی عناصر غذایی برای ارزیابی حاصلخیزی خاک، ۷۱/۸ درصد اراضی کشاورزی دارای فسفر قابل‌جذب کمتر از ۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده و به‌طورکلی ۵۱/۳ درصد اراضی کشاورزی در ایران در گروه فسفر کم، ۳۰/۵ درصد فسفر متوسط و ۱۸/۲ درصد فسفر بالا قرار دارند. لذا پیداکردن شاخصی که بتواند درعین حال که نیاز گیاه را پاسخ می‌دهد، مسائل محیط‌زیستی را لحاظ نماید تا سلامت انسان تضمین گردد، حائز اهمیت است.

ارزیابی محیط‌زیستی فسفر خاک

با توجه به نگرانی‌های محیط‌زیستی ناشی از تجمع فسفر در خاک، دانشمندان محیط‌زیست، روش‌ها و شاخص‌های مختلفی برای ارزیابی وضعیت فسفر خاک‌ها به شرح زیر ارائه کرده‌اند.

شاخص آزمون ساده فسفر خاک (The simple soil test)

رابطه آماری مقدار فسفر خاک با فسفر محلول در روان‌آب ساده‌ترین و ابتدائی‌ترین شاخصی است که برای کنترل کیفیت آب‌های سطحی ارائه شده است. تحقیقات انجام‌شده نشان داده‌است که رابطه مثبتی بین مقدار فسفر خاک با مقدار فسفر روان‌آب وجود دارد (شارپلی و همکاران، ۱۹۹۹). در ابتدای تحقیقات انجام-شده در این خصوص، دانشمندان به‌دنبال رابطه‌ای بودند که همبستگی آماری کم بین این دو فاکتور را افزایش دهند. به‌طوریکه پات و همکاران (۱۹۹۶) با بررسی نقش عصاره‌گیرهای مختلف به این نتیجه رسیدند که استفاده از عصاره‌گیرهایی همچون اولسن و مهلیچ ۳ بجای عصاره-گیر آب و استفاده از فسفر محلول در روان‌آب به‌جای کل فسفر حمل‌شده، این همبستگی را افزایش می‌دهد شکل (۱). در ادامه تحقیقات مشخص شد که وضعیت مکان‌های جذب فسفر در خاک از جمله اکسیدهای آهن و آلومینیوم در خاک‌های اسیدی و کربنات‌های کلسیم در خاک‌های آهکی (درجه اشباع فسفر خاک) بیشترین تاثیر را در آزاد-سازی فسفر خاک به شکل محلول به روان‌آب‌ها دارند. بدین‌ترتیب رابطه آماری بین درجه اشباع فسفر خاک با مقدار فسفر روان‌آب به دلیل ضریب همبستگی بالاتر، جایگزین رابطه آماری بین فسفر خاک با مقدار فسفر روان‌آب شده و به عنوان شاخص محیط‌زیستی معرفی گردید.

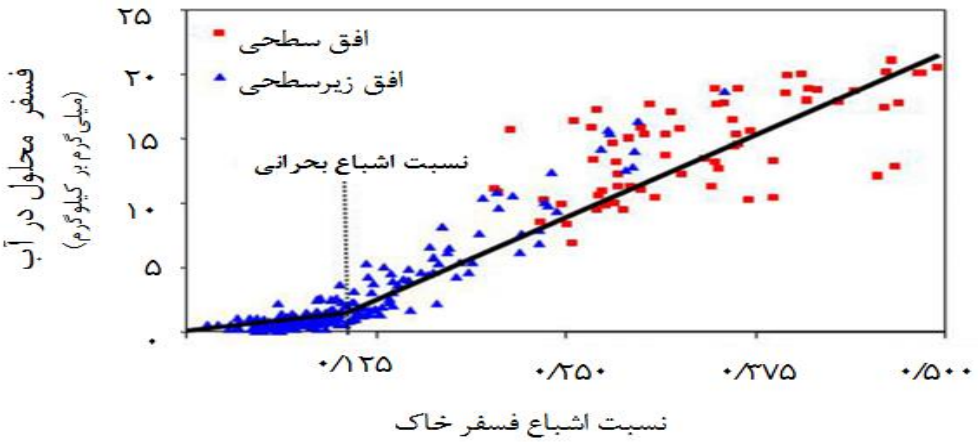


ب الف

شکل ۱- رابطه آماری فسفر خاک عصاره‌گیری شده با آب با مقدار فسفر حمل‌شده با روان‌آب (الف) و فسفر خاک عصاره‌گیری‌شده با مهلیچ ۳ با فسفر محلول در روان‌آب (ب) (پات و همکاران، ۱۹۹۶)

درجه (نسبت) اشباع فسفر خاک (Degree of phosphorus saturation)

درجه اشباع فسفر خاک با استفاده از نسبت فسفر خاک (که توسط عصاره‌گیرهای معمول از جمله اولسن و مهلیچ بدست می‌آید) به ظرفیت جذب فسفر خاک بدست می‌آید. ظرفیت جذب فسفر خاک در خاک‌های اسیدی شامل مجموع مقادیر اکسیدهای آهن و آلومینیوم خاک و در خاک‌های آهکی شامل مجموع مقادیر کربنات‌های کلسیم و منیزیم خاک می‌باشد (فیشر و همکاران، ۲۰۱۷). برای کاربرد این شاخص، ابتدا مطابق شکل (۲) رابطه بین DPS با فسفر محلول در روان‌آب و یا آب زهکشی‌شده بدست آمده و سطح‌بحرانی آن تعیین می‌شود. در این شکل مشاهده می‌شود که اگر نسبت اشباع فسفر خاک از ۰/۱۲ بیشتر باشد، با افزایش فسفر خاک (به عنوان مثال کاربرد کودهای فسفاتی)، شاهد افزایش بیشتری در فسفر محلول در روان‌آب خواهیم بود.



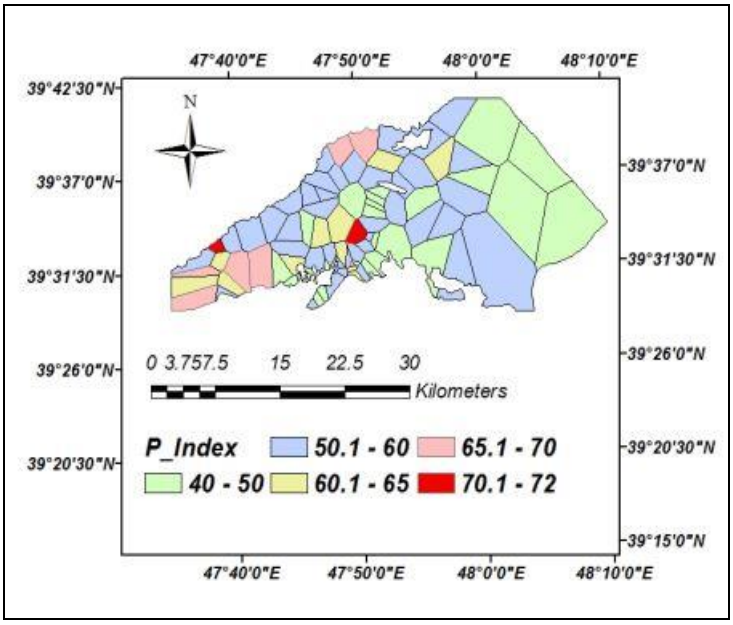
شکل - رابطه فسفر محلول در روان‌آب با نسبت اشباع فسفر خاک (نیر و همکاران، ۲۰۰۴)

شاخص محیط‌زیستی فسفر (Environmental P-index)

در این شاخص چهار فاکتور موثر در انتقال فسفر شامل فرسایش خاک، فرسایش ناشی از آب آبیاری، مقدار روان‌آب و مسافت و پنج فاکتور منبع فسفر شامل مقدار فسفر خاک، مقدار و روش مصرف کودهای فسفاتی و مقدار و روش مصرف کودهای آلی پس از وزن‌دهی به‌عنوان پایه محاسبات قرار گرفته و شاخص فسفر خاک بدست می‌آید (بال‌استر و همکاران، ۲۰۱٤). در جدیدترین شاخص محیط‌زیستی فسفر که در چند سال گذشته توسط بال‌استر و همکاران (۲۰۱٤) ارائه شده است، توصیه امکان مصرف کودهای فسفاتی براساس مقدار فسفرکل خاک بیان شده است. در این توصیه، مصرف کودهای فسفاتی بسته به مقدار شاخص محیط‌زیستی (کمتر از ٤۰، بین ٤۰ تا ۱۰۰ و بیشتر از ۱۰۰)، در مناطقی با فسفرکل بیشتر از ٤۰۰، ٦۰۰ و یا ۸۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، ممنوع شده است. در ایران گزارش‌های علمی که درخصوص بررسی شاخص‌های محیطی انجام شده باشد، ناچیز است. در گزارشی که در این خصوص توسط پسندیده و همکاران (۱۳۹۷) به روش ارائه‌شده توسط بال‌استر و همکاران (۲۰۱٤) برای اراضی کشاورزی منطقه پارس‌آباد مغان (و در ۹۰ مزرعه) شاخص محیط‌زیستی را به شکل نقشه ۳ پراکنش گزارش کرده‌اند.

بدیهی است در ارزیابی اراضی کشاورزی براساس شاخص محیط‌زیستی یکسری از مزارع علی‌رغم اینکه نیاز گیاه به فسفر، شاخص محیط‌زیستی اجازه مصرف کود فسفاتی را به کشاورز نخواهد داد. لذا در همچون مواقعی نیاز است که کشاورزان در خصوص

روش‌های قابل‌استفاده ساختن فسفر تثبیت شده خاک اطلاع داشته باشند که در ادامه به این موضوع پرداخته شده است.



شکل ۳- پهنه‌بندی و نقشه پراکنش شاخص زیست‌محیطی در پارس‌آباد

نقش کودهای زیستی فسفاتی در کاهش مصرف کودهای فسفاتی

از آنجایی‌که استفاده بی‌رویه از کودهای فسفاتی باعث بروز مشکلات و خسارات زیادی به محیط زیست گردیده است، در سال‌های اخیر توجه زیادی به استفاده از کودهای زیستی و آلی شده است. کاربرد کودهای زیستی در کشاورزی پایدار به علت افزایش کیفیت محصولات و حفظ حاصلخیزی خاک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از مزایای مهم کودهای زیستی می‌توان به افزایش فعالیت-های حیاتی در خاک، تأمین عناصر متناسب با نیاز گیاه، بهبود حاصلخیزی خاک و حفظ و پایداری محیط زیست اشاره نمود. استفاده از ریزجانداران حل‌کننده فسفات با مکانیسم‌های منحصر به خود منجر به افزایش حلالیت ترکیبات فسفاتی در خاک شده و بدین‌صورت بخشی از فسفر مورد نیاز گیاه را تأمین می‌کنند. این موضوع در نتایج تحقیقات میراحمدی و همکاران (۱۳۹۰) در خاک-های خوزستان با فسفر کل بیشتر از ۱۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و با فسفر قابل جذب ۱٤ میلی‌گرم در کیلوگرم و همچنین در تحقیقات آذرمی و همکاران (۱۳۹۲)، روحی و همکاران (۱۳۹۲) گزارش شده است. نتایج تحقیقات محمدی (۱۳۹۳) نشان داد با مصرف کودهای زیستی فسفاتی و روی، فراهمی عناصر غذایی در محیط اطراف ریشه‌گیاه لوبیا افزایش پیدا کرده و منجر به افزایش جذب عناصر غذایی و بهبود وضعیت تغذیه‌ای در این گیاه می-گردد. مقدار فسفر کل خاک اندازه‌گیری شده به روش هضم با اسید پرکلریک در ابتدای آزمایش ۷۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده که در پایان آزمایش در تیمارهای زیستی فسفاتی به ٦۷۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کاهش یافته است؛ یعنی از مقدار فسفر کل خاک، ٤۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کاسته شده است. لیکن میزان افزایش فسفر قابل استفاده ۱/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم بوده است.

بنابراین، کودهای زیستی فسفاتی دارای پتانسیل آزادسازی تدریجی فسفر از منابع نامحلول و کم‌محلول فسفرموجود درخاک می‌باشند و از این طریق باعث افزایش غلظت فسفر قابل جذب می‌شوند. این افزایش غلظت می‌تواند در تأمین فسفر برای کشت بعدی مؤثر

واقع شود. اگر مقدار جذب توسط اندام‌های گیاه از قبیل ریشه‌ها، اندام هوایی و دانه به میزان قابل جذب این عناصر در خاک اضافه گردد، تأثیر مثبت استفاده از کودهای زیستی فسفاتی در آزادسازی فسفر از منابع کم-محلول و نامحلول موجود در خاک به خوبی مشخص خواهد شد.

میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات

طیف گسترده‌ای از مکانیسم‌های انحلال میکروبی فسفر در طبیعت وجود دارد و بخش عمده‌ای از چرخه جهانی فسفات‌های آلی و غیر آلی نامحلول خاک به باکتری‌ها و قارچ‌ها نسبت داده شده است. تولید اسیدهای آلی و فسفاتازها روش رایج برای انحلال فسفر می‌باشند. به‌طورکلی مکانیسم‌های اصلی و کلیدی میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات برای تبدیل فرم‌های نامحلول به فرم‌های قابل دسترس گیاهان عبارتند از: ۱- تولید انواع اسیدهای آلی و معدنی ۲- اسیدی کردن محیط ۳- تولید آنزیم‌های هیدرولیز کننده ٤- کلاته کردن ٥- واکنش‌های تبادلی. انحلال فسفر توسط این میکروارگانیسم‌ها یک پدیده پیچیده است که به تغذیه، وضعیت فیزیولوژیکی و شرایط محیط رشد گیاه بستگی دارد. به نظر می‌رسد میکروارگانیسم‌ها در انحلال فرم‌های مختلف فسفات از مکانیسم‌های متفاوت استفاده می‌کنند. یک گونه ممکن است از چند مکانیسم به‌طور همزمان برای انحلال فسفات استفاده کند (مورالز و همکاران، ۲۰۱۱).

همزیستی قارچ با گیاه می‌تواند یکی از پدیده-های جالب و قابل‌توجه در اکوسیستم‌های طبیعی و کشاورزی به شمار آید (رجالی، ۱۳۸٤). بررسی نتایج تحقیقات محققین نشان می‌دهد، نقش اصلی قارچ‌های میکوریزی تأمین عناصر غذایی بالاخص عناصر غیر متحرک، مانند فسفر و روی برای گیاه است. از آنجائیکه فسفر در خاک عنصری فوق‌العاده کم‌تحرک است، حتی درصورتی‌که فسفر به شکل محلول به خاک اضافه شود به‌سرعت در اشکال فسفات‌کلسیم یا دیگر اشکال تثبیت شده و به صورت غیر متحرک در می‌آید. لذا قارچ‌های میکوریزی در افزایش جذب مواد معدنی به‌ویژه فسفر و روی و تجمع زیست‌توده بسیاری از محصولات در خاک-هایی که فسفر محلول کمی دارند و یا در اثر خشکی، ضریب پخشیدگی فسفر کاهش یافته است، تأثیر مثبت دارند (رجالی، ۱۳۸٤). مکانیسم‌های گوناگونی می‌توانند موجب افزایش جذب فسفر توسط گیاهان میکوریزی گردند. این مکانیسم‌ها عبارت‌اند از: **۱**- جستجوی حجم بیشتری از خاک **۲**- بالا بودن سرعت جذب فسفر توسط هیف قارچ‌های میکوریزا **۳**- افزایش انحلال فسفر خاک. قارچ‌های میکوریزی ضمن نفوذ در سیستم ریشه‌ای گیاهان و برقراری رابطه همزیست میکوریزی، با گسترش شبکهٔ میسلیومی برون‌ریشه‌ای در خاک‌های اطراف ریشه، مقدار عناصر غذایی (مخصوصاً فسفر) بیشتری را جذب کرده و به گیاه انتقال می‌دهند. هیف‌های قارچی علاوه بر افزایش سطح جذب (افزایش سطح جذب‌کنندگی ریشه بالغ بر ۹۸ درصد)، توان جذبی بالاتری نیز نسبت به ریشه‌های گیاه داشته، همچنین قدرت نفوذ هیف‌های قارچی در منافذ ریز در مقایسه با ریشه گیاهان بسیار بالاتر است (رجالی، ۱۳۸٤).

باکتری‌های حل‌کننده فسفات[۳] گروهی از میکروارگانیسم‌ها می‌باشند که قادرند فسفات‌های معدنی نامحلول را به ترکیبات معدنی محلول و قابل دسترس گیاهان تبدیل کنند. این میکروارگانیسم‌ها با ترشح آنزیم فسفاتاز و فیتاز و با اکسیداسیون ناقص قندها و مواد پلی-ساکاریدی که توسط ریشه گیاهان ترشح می‌شوند، اسیدهای آلی مانند اسید اگزالیک، اسیدسیتریک، اسید گلوکونیک و اسید مالیک تولید می‌کنند. از میان اسیدهای آلی، اسید گلوکونیک به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل در انحلال فسفات‌های معدنی محسوب می‌شود. اسیدهای آلی تولید شده از طریق کاهش pH منطقه ریزوسفر و کلاته نمودن یون آلومینیوم در خاک‌های اسیدی و یون

[6]- Phosphate Solubilizing Bacteria

کلسیم در خاک‌های بازی باعث افزایش فسفر قابل دسترس می‌شوند. از دیگر فعالیتهای باکتری‌های حل‌کننده فسفات تولید تنظیم کننده‌های رشد گیاه توسط باکتری و اثر آن بر رشد ریشه است که باعث بهبود جذب آب و مواد غذایی از خاک می‌شود. افزایش جذب عناصر غذایی توسط گیاه منجر به افزایش تجمع ماده خشک و مواد معدنی در ساقه‌ها و برگ‌های گیاه شده و در نهایت باعث افزایش عملکرد گیاه می‌شود. به‌طورکلی در میان انواع باکتری‌ها، جنس‌های *فلاوباکتریوم*، *سودوموناس*، *باسیلوس*، *اگروباکتریوم*، *میکروکوکوس*، *انتروباکتر* و *ریزوبیوم* از سویه‌های حل‌کننده فسفات‌های نامحلول معدنی هستند که از طریق انحلال فسفات‌های نامحلول آلی و معدنی قابلیت جذب فسفر توسط گیاه را افزایش می‌دهند (مورالز و همکاران، ۲۰۱۱). اولین کود زیستی فسفاتی به نام فسفوباکترین در سال ۱۹۵۰ توسط محققین روسی به بازار عرضه شد که حاوی واریته فسفاتیکم باکتری *باسیلوس مگاتریوم* بود. امروزه تولید صنعتی کودهای زیستی به صورت مخلوطی از چند نوع باکتری که دارای خاصیت چندگانگی از قبیل توانایی حل فسفات، تحریک رشد گیاه و افزایش عملکرد می‌باشد، در حال گسترش است. به‌عنوان مثال کود میکروبی مخلوط به نام فیلازونیتوم وجود دارد که حاوی باکتری باسیلوس مگاتریوم و ازتوباکتر کروکوکوم بوده و موجب افزایش جذب نیتروژن و فسفر در گیاهان می‌گردد.

نقش مواد آلی در جذب فسفر خاک

مواد آلی به علت اثرات سازنده‌ای که بر خصوصیات شیمیایی و بیولوژیکی (اکتیویته بیوماس میکروبی) دارد، می‌تواند در قابلیت جذب عناصر غذایی از جمله فسفر موثر باشد. با مطالعه بیولوژی ارگانیسم‌های خاک می‌توان دریافت که با افزایش مواد آلی خاک، محیط جهت رشد آنها مساعدتر شده و بر جمعیت آنها افزوده می‌شود، طوری که هر چه مواد آلی خاک (تا حدی) افزایش یابد ارگانیسم‌های آن زیاد شده و خاک شکل زنده‌تری به خود می‌گیرد و هر چه خاک زنده‌تر باشد به دلایل تولید هوموس، معدنی شدن وگردش سریع، فسفر خاک قابل‌جذب‌تر می‌گردد (ابراهیمی و همکاران، ۱۳۸٤). سایر عوامل موثر در حلالیت و قابلیت جذب فسفر خاک: عوامل و راهکارهای زیر نیز در افزایش قابلیت استفاده فسفر و کاهش تجمع این عنصر موثر شناخته شده است.

- نوع و ساختار فسفر خاک: با توجه به ساختار و منشا متفاوت سنگ‌های فسفاتی (آذرین، رسوبی و دگرگونی) حلالیت و قابلیت استفاده آنها متفاوت خواهد بود.
- رطوبت خاک: با توجه به اینکه حلالیت ترکیبات فسفاتی منوط به آن است که محصولات حاصل از واکنش به صورت محلول و به وسیله پخشیدگی از محیط واکنش خارج شود، رطوبت خاک به دلیل تاثیر در مقدار پخشیدگی، از مهمترین عوامل موثر در قابلیت جذب فسفر است.
- آنیون‌ها و کاتیون‌های محلول: برخی از آنیون-های آلی و غیرآلی برای جذب در مکانهای جذبی می-توانند با ارتوفسفات رقابت کرده و باعث کاهش جذب فسفر در مکان‌های جذب و افزایش قابلیت دسترسی فسفر برای گیاهان شود.
- اسیدی‌کردن خاک‌های قلیایی: با استفاده از مواد اسیدزای مشخصی از جمله پیریت، گوگرد و گچ. در این رابطه استفاده از باکتری‌های تیوباسیلوس به دلیل افزایش اکسیداسیون گوگرد و تولید اسید بیشتر، اثربخشی گوگرد را بیشتر می‌کند. کاربرد مایه تلقیح تیوباسیلوس، درشرایطی کارساز خواهد بود که عوامل محیطی همچون درجه حرارت، رطوبت، تهویه، مشخصات ترکیبات گوگردی، نوع آفت کش‌ها و غیره تاثیر منفی بر رشد و نمو و جمعیت باکتری‌ها نداشته باشد (نورقلی‌پور، ۱۳۷۹).

پیشنهادات ترویجی

با توجه به مطالب ذکر شده، پیشنهاد می‌شود که:

با عنایت به نتایج تحقیقات مختلف، توصیه می‌گردد که مصرف کودهای فسفاتی در مناطقی که آب‌های سطحی به‌عنوان آب آشامیدنی مصرف می‌شود، حتماً برمبنای نتایج تجزیه خاک و شاخص‌های محیط‌زیستی انجام شده و تا حد امکان مصرف کودهای شیمیایی فسفاتی همراه با تلفیقی از کودهای زیستی و کودهای آلی باشد تا نیاز گیاه به فسفر تأمین شده و ازطرف دیگر محیط‌زیست آلوده نگردد.

با عنایت به تجمع بیش از حد فسفات‌های کلسیم در خاک‌های آهکی و فسفات‌های آهن و آلومینیوم در خاک‌های اسیدی، تلاش به اصلاح فرهنگ مصرف و اصلاح قیمت انواع کودهای فسفاتی شود و تولید و مصرف کودهای فسفاتی تولید داخل به جای سوپر فسفات تریپل وارداتی که معمولاً محتوی کادمیم بالا می‌باشد، مدنظر قرار گیرد.

برای بالا بردن کارآیی کودهای فسفاتی و کاهش تجمع آن در خاک، استفاده از باکتری‌های حل‌کننده فسفر، قارچ‌های میکوریزی به صورت مایه تلقیح و گوگرد همراه باتیوباسیلوس، مواد آلی و ایجاد شرایط خاکی مناسب ضروریست.

لازم است در پژوهش‌های آینده، رابطه بین مقدار فسفرکل خاک با کاربرد ریزجانداران حل کننده فسفات بررسی شود تا بتوان با توجه به مقدار آن، نیاز فسفری گیاه را با مصرف ریزجانداران حل کننده فسفات مدیریت نمود و از این طریق مصرف کودهای فسفاتی را بهینه نمود. همچنین ضریب همبستگی بین فسفرکل و فسفر قابل‌استفاده در خاک‌های زراعی بعد از کشت‌های متفاوت و نیز میزان توانمندی کودهای میکروبی فسفاتی در قابل استفاده نمودن فسفر برای گیاه از فسفات‌های کلسیم، آهن و آلومینیم در خاک‌های آهکی و اسیدی تعیین شود.

فهرست منابع

۱. ابراهیمی، س.، ح. ع. بهرامی، م. همایی و م. ج. ملکوتی. ۱۳۸٤. نقش مواد آلی در افزایش سطح حاصلخیزی خاکهای زراعی. نشریه فنی شماره ٤۰۱ موسسه تحقیقات خاک و آب. انتشارات سنا، تهران، ایران.

۲. آذرمی، ف.، ملکوتی، م. ج. و خاوازی، ک. ۱۳۹۲. تأثیر تلقیح ریزجانداران حل کننده فسفات در افزایش کارآیی و درصد بازیافت کودهای فسفاتی در کلزا. مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، ۳۷: ٤۹۹– ۵۰۷.

۳. پسندیده، م.، م. ج. ملکوتی، ک. شهبازی و ز. محمداسماعیل۱۳۹۷.بررسی وضعیت فسفر خاک در اراضی کشاورزی پارس‌آباد مغان. مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، ۳۲: ۳٦۲– ۳۷٤.

٤. حیدری، ن.، ریحانی تبار، ع.، نجفی، ن. و اوستان، ش. ۱۳۹۲. توزیع شکل‌های مختلف فسفر در برخی از خاک-های استان آذربایجان شرقی و رابطهٔ آن با برخی ویژگی‌های خاک. مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ٤٤: ۲۷۹– ۲۷۱.

۵. دهقان،ر. ع.،شریعتمداری، ح. وخادمی، ح. ۱۳۸٦. شکل‌های فسفر خاکدر چهار ردیف اراضی در منطقه اصفهان و شهرکرد. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ٤۲: ٤۷۳– ٤٦۳.

٦. رجالی، ف. ۱۳۸٤. مروری اجمالی بر همزیستی میکوریزی. سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، موسسه تحقیقات خاک و آب. نشریه فنی شماره ٤٦۸، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، ۳۵ صفحه.

۷. روحی، ت.، ملکوتی، م. ج.، خاوازی، ک. و دادخواه، ح. ۱۳۹۲. تغذیه تلفیقی ذرت با استفاده از کود زیستی و سوپر فسفات تریپل. مجموعه مقالات سیزدهمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

۸. سماواتی، م. و حسین‌پور، ع. ر. ۱۳۸۵. تعیین شکلهای مختلف فسفر معدنی در تعدادی از خاکهای انتخابی استان همدان و ارتباط آنها با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی اجزای خاک.علوم خاک وآب، ۲۰:۲۵۹-۲٤٦.

۹. شهبازی، ک و بشارتی، ح. ۱۳۹۲. بررسی اجمالی وضعیت حاصلخیزی خاکهای کشاورزی ایران. نشریه مدیریت اراضی. جلد ۱، شماره ۱، صفحه ۱-۱٦

۱۰. محمدی، م. ۱۳۹۳. مقایسه کودهای زیستی و شیمیایی از نظر افزایش عملکرد و کاهش ویژگی‌های کیفی نامطلوب (تانن، اسید فنلیک، اسید فیتیک، بازدارنده‌های تریپسین) در دو رقم لوبیا. رساله دکتری گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۱۱. محمود سلطانی، ش. و صمدی، ع. ۱۳۸۲. شکل‌های مختلف فسفر در برخی خاکهای آهکی استان فارس و رابطه آنها با ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۳: ۱۲۷-۱۱۹.

۱۲. محمود سلطانی، ش.، دواتگر، ن.، کاوسی، م. و میرحسینی، ح. ۱۳۹۰. شکل‌های مختلف فسفردرخاکهای شالیزاری و روابط آنها با خصوصیات فیزیکی وشیمیایی خاک (مورد مطالعه **:** خاک‌های شالیزاری شهرستان صومعه سرا استان گیلان). مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۱۸: ۱۷٦-۱۵۹.

۱۳. مستشاری، م.، اردلان، م. م، کریمیان، ن.، رضایی، ح. و میر حسینی، ح. ۱۳۸۸. توزیع شکل‌های معدنی فسفر و ارتباط آن با ویژگی‌های خاک در برخی خاک‌های آهکی استان قزوین. مجله پژوهشهای خاک (علوم خاک و آب)، ۲۳: ۲۲-۱۱.

۱٤. ملکوتی، م. ج. (۱۳۹۷). نقش مصرف بهینه کود در افزایش عملکرد و تولید محصولات کشاورزی سالم. چاپ چهارم، انتشارات مبلغان، تهران. ایران.

۱۵. میراحمدی، م، ملکوتی م ج و خاوازی ک. ۱۳۹۰. اثر باکتری‌های حل کننده ی فسفات در تأمین فسفر مورد نیاز ذرت در خاک‌های آهکی. مجموعه مقالات دوازدهمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

۱٦. نقی‌زاده اصل، ز.، درودی‌پور، ا.، قلی‌زاده، ع.، کیانی، ف. و امامی، ح. (۱۳۹۰). بررسی رابطه بین فسفر عصاره-گیری‌شده به‌وسیله چند عصاره‌گیر و شکل‌های فسفر معدنی در خاک‌های استان گلستان. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۵، شماره ۳. صفحه ۵۰۹-۵۱۷.

۱۷. نورقلی‌پور ف. ۱۳۷۹. اثر اسیدی کردن آب و دو میکروارگانیسم بر قابلیت جذب آهن از کنسانتره آهن و فسفر از خاک‌فسفات به وسیله گیاه ذرت. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

18. Bolster, C H, Delgoda, J , and Horvant, T. 2014. The new combined Kentucky nitrogen and phosphorus index to protect water quality. Kentucky agricultural science and monitoring committee meeting. Hinsinger, P. 2001. Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review. Journal of Plant and Soil, 237: 173–195.

19. Fischer, P., Poting, R., Venoh, M. (2017). The degree of phosphorus saturation of agricultural soils in Germany: Current and future risk of diffuse P loss and mplications for soil P management in Europe. Science of the Total Environment, 44(2), 1130-1139.

20. Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plant. Second Ed., Academic Press. Harcourt Brace Company, Pub. Co. New York. 890 p.

21. Morales, A, Alvear, M, Valenzuela, E. Castillo, C E. and Borie, F. 2011. Screening, evaluation and selection of phosphate-solubilizing fungi as potential biofertilizer. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 11: 89-103.
22. Nair, V. D., Portier, K. M., and Walker, M. L. (2004). "An environmental threshold for degree of phosphorus saturation in sandy soils." Journal of Environmental Quality, 33(1): 107-113.
23. Pote, D. H., Daniel, T. C., Moore, P. A., Nichols, D. J., Sharpley. A. N. (1996). Relating extractable soil phosphorus to phosphorus losses in runoff. Soil Science Society of America Journal, 60 (3) 855-859.
24. Sharpley, A. N., Gburek, W. J., Folmar, G. and Pionke, H. (1999). "Sources of phosphorus exported from an agricultural watershed in Pennsylvania." Agricultural Water Management, 41(2): 77-89.

Management of Phosphate Fertilizer Application based on Soil Test Results and Environmental Indicators

M. Passandideh [1], M. J. Malakouti, K. Shahbazi, and Z. MohammadIsmail

PhD student and Faculty Member, Ardabil Agriculture and Natural Resources Research and Education Center. **Mpassandideh@yahoo.com**
Professor, Tarbiat Modares University. **Mjmalakouti@modares.ac.ir**
Assistant Professor, Soil and Water Research Institute of Iran.**Shahbazikarim@ yahoo.com**
Researcher, Soil and Water Research Institute of Iran. **Mesmaily_n@yahoo.com**

Received: August 2015 and Accepted: July 2017

Abstract

Study has shown that the soil available-P content in 71.8% of the agricultural lands in Iran falls below 15 mg. kg^{-1}. Moreover, excessive use of P-fertilizers in calcareous soils not only increases costs but also leads to P-accumulation and reduced uptake of micronutrients, especially Zinc, to pose serious threats to public health. Generally, only a small percentage (15–20%) of P-fertilizers used each year may be absorbed by plants while the remaining portion precipitates to increase soil total-P in lands with high pH levels. This process can cause environmental problems in areas close to lakes or those near surface waters used to supply drinking water. These observations warrant the quest for indicators that address both plant requirements and adverse environmental effect. It is worth noting that P is far more easily released in calcareous soils than in acidic ones because the bond between phosphate ions and calcium is by five times weaker than that between phosphate ions and iron or aluminum. It may, therefore, be concluded that application of P fertilizers should be based on local soil analysis and that P fertilizers should be recommended in soils whose available phosphorus concentration is below a critical level. Thus, such appropriate practices as applying P- fertilizers with due consideration of soil analysis results, increasing soil organic matter, and using P solubilizing bio-fertilizers may be recommended in order not only to enhance uptake of soil non-available P but to meet plant requirements, optimize fertilizer consumption, and prevent environmental hazards as well.

Keywords: *Phosphorus, Total phosphorus, Bio-fertilizers*

[1] - Corresponding author: Ardabil Agriculture and Natural Resources Research and Education Center.