

## استفاده از رادیو ایزوتوپ فسفر-۳۲ در بررسی توزیع کود فسفوری در خاک و اندامهای مختلف گیاه گوجه فرنگی، تحت سیستم کود آبیاری قطره‌ای

میر احمد موسوی شلمانی<sup>۱</sup>، نصرت اله ثاقب<sup>۲</sup> و علی خراسانی<sup>۳</sup>  
۱، ۲، ۳، اعضاء هیئت علمی و کارشناس مرکز تحقیقات کشاورزی و پزشکی هسته‌ای، کرج  
تاریخ پذیرش مقاله ۸۲/۳/۲۱

### خلاصه

آزمایش در مزرعه تحقیقات کشاورزی و پزشکی هسته‌ای کرج، تحت سیستم کودآبیاری قطره‌ای، بصورت چهار کرت (هرکدام به ابعاد ۱۰×۳ متر) و در چهار تکرار اجراء گردید. طراحی سیستم آبیاری بگونه‌ای بود که هر کرت از ۳ خط آبیاری، به طول ۱۰ متر و به فاصله یک متر از یکدیگر قرار گرفته و فواصل هر قطره چکان ۰/۵ متر در نظر گرفته شد. جهت تزریق عناصر کودی در سیستم آبیاری، از یک دستگاه پمپ تزریق کود استفاده گردید. کنترل رطوبت ناحیه ریشه گیاه و برنامه‌ریزی آبیاری، از طریق دستگاه نوترون متر صورت گرفت. جهت اعمال اسید فسفریک نشاندار شده با فسفر-۳۲، پانزده گیاه در انتهای هر کرت (توسط توری) جدا گردیده و سیستم کودآبیاری در مورد ۳ گیاه، در وسط کرت ایزوتوبی حذف و کوددهی از طریق گالن ۲۰ لیتری انجام شد. اکتیویته کود نشاندار مورد مصرف ۱۰/۴۳ مگابکرل در گرم فسفر بود که در طی ۳۶ دور آبیاری (همراه با هر آبیاری) در مزرعه اعمال گردید. برداشت میوه طی ۶ مرحله صورت پذیرفت. در انتهای فصل رویش، جمعا ۳۶ نمونه خاک از سه عمق ۲۰، ۴۰ و ۶۰ سانتی متر و فواصل ۱۷، ۳۴ و ۵۰ سانتی متر، در جهت عمود بر خطوط آبیاری و در جوار گیاهان نشاندار تهیه شد. اکتیویته نمونه‌ها با استفاده از دستگاه Beta Counter اندازه‌گیری گردید. نتایج حاصل مؤید این مطلب بود که ۴۴/۱ درصد از اتمهای فسفر وارد شده به ریشه گیاه گوجه فرنگی (PdfF) از منبع کود فسفوری بوده و نتایج آماری تفاوت معنی‌داری در خصوص اندامهای مختلف گیاهی از خود نشان نداده است. ۲۳/۳٪ از کود فسفردار، مورد استفاده گیاه گوجه فرنگی قرار گرفته که این داده مؤید کارایی مصرف کود، تحت سیستم کود آبیاری قطره‌ای، در شرایط انجام آزمایش می‌باشد. میوه‌های گیاه گوجه فرنگی، ۱۱/۷٪ از کود فسفوری را مورد مصرف قرار داده و این میزان در رابطه با برگ گیاه ۷/۸٪، ساقه ۲/۲٪ و ریشه ۱/۶٪ بوده است. همچنین بیشترین استحصال اسید فسفریک، در طی هفته‌های دوم و سوم برداشت میوه (به میزان ۶۵٪) برآورد گردید. ۶۱/۵ درصد از کود فسفوری، در پروفیل خاک به فواصل ۵۰ و عمق ۶۰ سانتی‌متر توزیع شده و بیشترین تجمع (۹/۴٪) در قطعه واقع در فاصله ۳۴-۱۸ و عمق ۶۰-۴۱ سانتی‌متر ملاحظه گردیده و در نهایت ۱۵/۲٪ از کود فسفوری خارج از محیط ردیابی قرار گرفته است.

**واژه‌های کلیدی:** فسفر-۳۲، کود آبیاری، آبیاری قطره‌ای، گوجه فرنگی، کارایی مصرف کود فسفوری، توزیع فسفر در خاک.

### مقدمه

فرایندهای رشد و تکامل ریشه، گلدهی، تشکیل میوه و دانه و افزایش مقاومت به امراض، این عنصر بعنوان دومین عنصر کلیدی از نظر تغذیه گیاه درآمده و از جمله عناصر مهم در تولید محصول بشمار می‌رود (۳، ۲۱). کمیت‌های معمولاً "کوچک فسفر

سطح مدیریت یعنی درجه کنترل موفقیت‌آمیز همه عوامل موثر در تولید محصول (۳). بواسطه نقش ویژه عنصر فسفر در فرایند انتقال انرژی، تقسیم سلولی و همچنین شرکت در

در خاکها و گرایش آن به واکنش با اجزای تشکیل دهنده خاک و تولید ترکیبات نامحلول و در نتیجه غیر قابل جذب برای گیاه، فسفر را در زمینه حاصلخیزی خاک بسیار مهم می‌سازد (۳). یکی از عوامل محدود کننده در کشاورزی متمرکز، کارایی مصرف پایین کود فسفوری تحت سیستمهای سنتی می‌باشد (۲۳). فرایند تثبیت فسفر در خاکهای اسیدی<sup>۱</sup> و قلیائی<sup>۲</sup> عملاً<sup>۳</sup> تحرک این عنصر را در خاک محدود نموده، که پیامد این امر کاهش کارایی انواع کودهای شیمیائی حاوی این عنصر خواهد بود. بدلیل ایستا بودن یون فسفات، حرکت آن در خاک بسیار آهسته بوده، در نتیجه از تلفات آن با آبهای فرونشستی میتوان صرف نظر نمود (۳). در این راستا کاتو و همکاران (۱۹۹۵) با استفاده از رادیوایزوتوپ <sup>33</sup>P بدین نتیجه دست یافتند که قرار دهی کود فسفوری در عمق ۶ سانتی متری منجر به تثبیت ۷۴/۴ درصد از آن (پس از ۳۶ روز) می‌گردد. در این آزمایش هیچگونه انتقال آلودگی به نواحی اطراف آزمایش و آبهای زیر زمینی ملاحظه نگردید. در آزمایش دیگر، میزان اتلاف فسفر از طریق فرسایش و رواناب ناچیز و در حد ۳ کیلو گرم در هکتار در سال گزارش گردید (۲۱). اقبال (۱۹۹۰) گزارش نمود که بر اساس نوع خاک و سطح کود، تحرک فسفر باند شده در خاک فرق نموده بصورتی که با افزایش میزان آن (از ۱۵ الی ۶۰ کیلوگرم فسفر در هکتار)، به میزان جابجائی فسفر افزوده می‌گردد. متوسط میزان جابجائی (پس از ۹۴ روز) توسط ایشان، ۱/۸ سانتی متر در خاک Sharpsburg<sup>۳</sup> و ۳/۹ سانتی متر در خاک Nora<sup>۴</sup> گزارش شد. در بررسی استعمال منابع محلول فسفر، لایور نفوذ فسفر به عمق ۱۰/۴ سانتی متر در خاک شنی و ۷/۳ سانتی متر در خاک لوم سیلتی (تحت سیستم آبیاری بارانی) را گزارش نمود (۱۹). وی در مقایسه نفوذ کودهای مختلف فسفوری بدین نتیجه دست یافت که نفوذ منو آمونیوم فسفات، فسفات اوره و اسیدفسفریک همانند یکدیگر می‌باشند. پاپادوپولوس (۱۹۹۲) در آزمایش بر روی سیب زمینی تحت سیستم کود

آبیاری بارانی (با محلول ۴۰ قسمت در میلیون<sup>۵</sup> فسفر) هیچگونه تجمع فسفر را در پروفیل خاک ملاحظه نکرد. بار یوسف (۱۹۹۹) با استفاده از رادیو ایزوتوپ <sup>32</sup>P بدین نتیجه دست یافت که استعمال محلول حاوی ۲۰۰ میلی گرم فسفر در لیتر، در خاک شنی موجب تجمع فسفر در عمق و فاصله ۸ سانتی متر از گیاه می‌گردد و در خاک رسی، محدوده تجمع کوچکتر شده و به عمق ۶ و فاصله ۸ سانتی متر محدود می‌شود. انتظار می‌رود با اختلاط اسید فسفریک (بعنوان یک منبع فسفر قابل حل) در آب آبیاری، میزان جابجایی فسفر در خاک افزوده گردیده که پیامد این امر کاهش کارایی مصرف کود فسفوری می‌باشد. در این راستا توجه به دو عامل: استفاده از اسید فسفریک و تقسیط کودی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار خواهد بود. اصولاً<sup>۳</sup> حلالیت فسفات‌ها در آب همیشه بهترین معیار قابلیت جذب این عنصر برای گیاهان نیست (اگر چه معیار خوبی بشمار می‌رود) (۳). تحقیقات صورت گرفته مؤید این مطلب می‌باشد که استفاده از اسید فسفریک در سیستمهای آبیاری تحت فشار، مزایایی نسبت به کاربرد سایر فرمهای کودی دارد. سالازار و گوادلوپ (۱۹۹۲) گزارش نمودند که استفاده از اسید فسفریک تحت سیستم کودآبیاری، باعث کاهش pH به میزان ۰/۵ تا ۰/۸ و کاهش درصد کربنات به میزان ۰/۵ تا ۱/۰ در خاکهای قلیایی گردیده است. نرسون در آزمایش خود برتری بین بکارگیری فسفات پتاسیم و اسید فسفریک ملاحظه نکرد (۲۲). استفاده از اسید فسفریک جدا از اینکه اثر زیان آور بر رشد طولی ریشه گیاه ندارد بلکه باعث می‌گردد بعضی از عناصر کم نیاز غیرمحلول (مانند روی، آهن و منگنز) بطور موقت محلول شوند (۳). در خصوص تقسیط کود فسفوری و مصرف آن در دفعات زیاد، نتایج مؤید اثرات مثبت در گیاه گوجه فرنگی می‌باشد. باریوسف (۱۹۸۹) گزارش نمود که کوددهی فسفر به دفعات زیاد می‌تواند از نظر زمانی، میانگین غلظت فسفر را در محلول خاک بالا ببرد و در صورتیکه فسفر، یک عامل محدود کننده رشد باشد، تقسیط کود فسفوری (بواسطه تحریک ریشه‌ها در خصوص جذب این عنصر) باعث افزایش میزان محصول ماده خشک، و کاهش رشد علفهای هرز می‌شود. پرابون در آزمایش تحقیقاتی با استفاده از رادیو ایزوتوپ فسفر-۳۲ گزارش نمود که تقسیط فسفر در خاک سولفات اسیدی باعث کاهش میزان تثبیت فسفر در خاک

۱- واکنش یونهای ارتو فسفات با آهن و آلومینیوم و رسهای سیلیکاتی.

۲- تبدیل فرمهای منو کلسیم فسفات به دی و تری، رسوب در سطح ذرات کربنات کلسیم و نگهداری فسفات بوسیله رسهای اشباع شده از کلسیم.

۳- Fine, montmorillonitic, mesic typic Argiudoll.

۴- Fine, silty, mixed, mesic udic Haplustoll.

$$D.M.Y = F.W \times \frac{10000}{A} \times \frac{SDW}{SFW}$$

D.M.Y = محصول ماده خشک اندام گیاهی در واحد سطح  
(kg ha<sup>-1</sup>)

F.W = مقدار تولید اندام تر گیاهی در واحد سطح کرت  
(kg)

A = مساحت کرت (m<sup>2</sup>)

SDW/SFW = نسبت وزن خشک، به وزن تازه اندام گیاهی  
در نمونه فرعی

$$P.yield = D.M.Y \times \frac{\%P}{100}$$

P.Yield = مقدار استحصال فسفر در بافت گیاهی در واحد  
سطح (کل فسفر محصول) (kg Pha<sup>-1</sup>)  
%P = درصد فسفر در بافت گیاهی

$$\%PdFF = \frac{S.A.plant}{S.A.fertilizer} \times 100$$

%PdFF = در صد فسفر مشتق شده از کود در گیاه (۱۱.۲۶)  
S.A plant = اکتیویته ویژه نمونه گیاهی (Bq g<sup>-1</sup> P<sup>-1</sup>)  
S.A fertilizer = اکتیویته ویژه کود استفاده شده (Bq g<sup>-1</sup> P<sup>-1</sup>)

$$F.P.Y = P.yield \times \frac{\%PdFF}{100}$$

F.P.Y = مقدار استحصال فسفر از منبع کود در واحد سطح  
(فسفر محصول مشتق شده از کود) (kg Pha<sup>-1</sup>)

$$\%P.U.E = \frac{F.P.Y}{R.P.A} \times 100$$

% P.U.E = کارایی مصرف فسفر کود (%)

R.P.A = مقدار کود فسفر دار مصرف شده در واحد سطح  
(kg Pha<sup>-1</sup>)

ب: معادلات مربوط به توزیع کود فسفری در خاک

در این خصوص، از داده‌های پایه مزرعه‌ای و آزمایشگاهی  
نظیر جرم واحد حجم خاک، درصد فسفر کل موجود در پروفیل  
خاک، اکتیویته ویژه خاک<sup>۲</sup> و کود مورد مصرف، فرم شیمیایی  
کود نشاندار شده و میزان پلان کودی در هکتار استفاده شده و  
در نهایت با استفاده از معادلات زیر می‌توان در تعیین توزیع  
نسبی عنصر کودی در مکانهای مختلف خاک اقدام نمود.

۲. Specific activity = میزان واپاشی در واحد زمان (باجرم) از موجودی  
فسفر کل در خاک، در واحد زمان بر حسب Bq g<sup>-1</sup> P<sup>-1</sup>، Ci g<sup>-1</sup> P<sup>-1</sup>،  
dpm mg<sup>-1</sup> P<sup>-1</sup> و غیره.

می‌گردد. پاپادوپولوس (۱۹۹۴) با استفاده از تکنیک ردیابی  
فسفر-۳۲ گزارش نموده که تقسیم کود فسفری می‌تواند زمان  
حضور ترکیبات حاوی فسفر در محلول خاک را افزایش داده که  
پیامد این امر افزایش میزان فسفر محلول می‌باشد.

با توجه به لزوم استفاده از سیستمهای نوین کوددهی و  
آبیاری در کشور، سیستم کود آبیاری<sup>۱</sup> (جهت تقسیم کود اسید  
فسفریک از طریق آب آبیاری) در بررسی فوق در نظر گرفته شد.  
در این سیستم با قرار دادن کود در محل و زمان مناسب (در  
جایی که ریشه‌های فعال گیاه قرار دارند) میتوان در جهت بالا  
بردن کارایی مصرف کود و کاهش اتلاف آن اقدام نمود(۴).  
همچنین گزارش شده که تحت این سیستم هدر رفت کود به  
طریقه آبخوبی به حداقل رسیده و غلظت عناصر غذایی در  
محلول خاک کنترل می‌شود (۲۳). امکان موازنه عناصر غذایی،  
تغییر بعضی از خصوصیات آب آبیاری، افزایش کمی و بهبود  
کیفی محصول همراه با افزایش کارایی کود از مزایای دیگر این  
روش محسوب می‌شوند (۲). در این تحقیق سعی گردیده تا با  
استفاده از رادیویزوتوپ فسفر - ۳۲، بعنوان یک ابزار ایده آل  
جهت مطالعه سرنوشت کودهای فسفری در خاک و همچنین  
بررسی میزان جذب این عنصر توسط گیاهان (۱۴)، سودمندی  
سیستم کودآبیاری قطره‌ای از لحاظ تأمین منابع فسفر، توزیع  
کود در اندامهای مختلف گیاهی، روند حرکت فسفر در خاک،  
بررسی و الگوی توزیع و تثبیت فسفر و در نتیجه محل تجمع آن  
در خاک مورد بررسی قرار گیرد.

#### تئوری

الف: معادلات مورد لزوم در بررسی توزیع کود فسفری در گیاه  
کارایی مصرف کود یک کمیت قابل اندازه‌گیری می‌باشد که  
میزان جذب عنصر غذایی از کود مورد مصرف را نشان می‌دهد  
(۵). لذا با استفاده از اطلاعات مزرعه و آزمایشگاه، مانند میزان  
محصول (در صورت نیاز به تفکیک اندامهای مختلف)، درصد  
رطوبت وزنی گیاه، درصد فسفر در کود و گیاه، اکتیویته ویژه  
بافت گیاهی و کود مورد مصرف، نوع کود نشاندار شده، میزان  
کود در هکتار و در نهایت قرار دادن اطلاعات مذکور در معادلات  
زیر میتوان در خصوص تعیین کارایی مصرف کود، تحت  
آزمایشات رادیویزوتوبی فسفر-۳۲ اقدام نمود (۱۴).

۱- Fertigation

اردیبهشت، ۲۴۰ نشاء یکنواخت به مزرعه منتقل گردید. تعیین پلان کودی N، P و K براساس موجودی عناصر غذائی در خاک (بالاتر از Marginal value) و همچنین سطح خیس شده سیستم آبیاری قطره ای (۳۵٪) و کارایی مصرف کودهای سه گانه تحت این سیستم (K=۰/۸۵، P=۰/۳۰ و N=۰/۸۰) صورت گرفت (۲۳) که در نهایت به ترتیب برای عناصر N، P و K سطح کودی ۳۴۴، ۹۷ و ۲۶۶ کیلو گرم در هکتار در نظر گرفته شد. تزریق عناصر کودی در سیستم آبیاری، توسط یک دستگاه پمپ تزریق کود<sup>۲</sup> صورت گرفت، بطوریکه غلظت عناصر N، P و K در آب آبیاری برابر با ۴۱/۸، ۱۱/۸ و ۲۷/۵ میلی گرم در لیتر گردید (۲۸). به منظور اجتناب از گرفتگی قطره چکانها (در اثر واکنش متقابل کودهای مختلف در محیط محلول با یکدیگر) تست جار (JAR test) بر روی عناصر کودی انجام گردید (۹). عدم ایجاد رسوب در طی ۲۴ ساعت، معرف این مطلب بود که اختلاط کودهای اوره، اسید فسفریک و سولفات پتاسیم (به عنوان منشاء عناصر سه گانه N، P و K) در غلظت مزبور، موجب گرفتگی قطره چکانها نخواهد شد. در خصوص تغذیه سایر عناصر غذائی و به منظور اجتناب از کاهش محصول (بواسطه نقصان عناصر غذائی کم نیاز) از محلول فوسامکو بصورت برگپاشی استفاده گردید. جهت جلوگیری از پیدایش امراض قارچی (در طی سه دوره) از قارچ کشهای بنومیل و کاپتان استفاده گردید. نیاز آبیاری بر اساس داده‌های طشتک تبخیر کلاس A تعیین گردیده و به منظور کنترل پروفیل رطوبتی، از دستگاه نوترون متر استفاده شد (۲۸). جهت اعمال کوددهی فسفر-۳۲، پانزده گیاه در انتهای خطوط آبیاری هر کرت، به وسیله توری جدا گردیده و سیستم مرکزی کودآبیاری در مورد ۳ گیاه مرکزی حذف و کوددهی از طریق گالن ۲۰ لیتری صورت گرفت (۱۲ گیاه غیر اکتیو داخل حصار، نقش گیاهان گارد را داشته‌اند). در خصوص گیاهان اکتیو، از قطره چکانهای تنظیم شونده استفاده شده بود. قرار دادن گالن در ارتفاع ۲۵ سانتی‌متری از سطح زمین، فشار مورد لزوم جهت ایجاد دبی ۴ لیتر در ساعت را فراهم نموده و در نهایت سعی گردید تا قطره چکانهای تنظیم شونده، تمامی

$$\%PdF = \frac{S.A.soil}{S.A.fertilizer} \times 100$$

$$\%PdF = \text{در صد فسفر مشتق شده از کود در خاک}$$

$$S.A. soil = \text{اکتیویته ویژه فسفر خاک (Bqg}^{-1}\text{P}^{-1}\text{)}$$

$$S.A. fertilizer = \text{اکتیویته ویژه کود استفاده شده (Bqg}^{-1}\text{P}^{-1}\text{)}$$

$$RPfF = P.C \times \frac{\%PdF}{100}$$

$$RPfF = \text{مقدار فسفر باقیمانده از کود در خاک (kgPha}^{-1}\text{)}$$

$$P.C = \text{موجودی فسفر خاک (kgPha}^{-1}\text{)}$$

$$\%PFRS = \frac{RPfF}{R.P.A} \times 100$$

$$\%PFRS = \text{در صد کود فسفوری باقیمانده در خاک}$$

$$R.P.A = \text{مقدار کود فسفوری مورد مصرف (kgPha}^{-1}\text{)}$$

## مواد و روش‌ها

در بهار سال ۱۳۷۸ قطعه زمینی به مساحت ۱۰۰۰ متر مربع، واقع در مزرعه تحقیقات کشاورزی و پزشکی هسته‌ای (مزرعه زعفرانیه کرج) به منظور اجرای این طرح آماده گردید. خاک مزرعه از رده "انٹی سل"<sup>۱</sup> با خصوصیات شیمیایی نیتروژن کل (۰/۱٪)، کربن آلی (۰/۹۷٪)، فسفر و پتاسیم قابل تبادل (به ترتیب ۲۳/۴ و ۱۳۶ قسمت در میلیون)، هدایت الکتریکی (۰/۶۷ دسی‌زیمنس بر متر) و واکنش گل اشباع (۸/۰۵) در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر بود. جهت آبیاری مزرعه از آب چاه با خصوصیات هدایت الکتریکی (۰/۳۳ دسی‌زیمنس بر متر)، pH (۸/۲)، کلسیم، منیزیم، سدیم، بی‌کربنات، سولفات و کلر (به ترتیب ۱/۴، ۱/۳، ۱/۵، ۲/۵، ۱/۴ و ۰/۵ میلی‌اکی‌والانت در لیتر) و نسبت جذب سدیم (۱/۳) استفاده گردید. سیستم کودآبیاری قطره‌ای بصورت چهار کرت (هرکدام به ابعاد ۳×۱۰ متر مشتمل بر ۶۰ گیاه) در چهار تکرار و در چهار نقطه مختلف این زمین به اجراء درآمد. طراحی سیستم آبیاری به گونه‌ای بود که هر کرت از ۳ خط آبیاری به طول ۱۰ متر (به فاصله یک متر از یکدیگر) قرار گرفته و فواصل هر قطره چکان ۰/۵ متر در نظر گرفته شد (۲۸). ۳۰۰ نشاء گوجه فرنگی (رقم *Early Urbana VF*) در کیسه‌های پلاستیکی در گلخانه رویانده شده و در نیمه دوم

2. Fertigator

1. Fine loamy over sandy skeletal mixed (Calcareous) thermic xeric torriorthents.

اکتیویته آنها توسط دستگاه مذکور تعیین گردید. جهت تعیین اکتیویته ویژه نمونه‌های گیاهی، با استفاده از روش کالریمتری (رنگ زرد مولیبدات وانادات) درصد فسفر کل گیاه تعیین گردید (۱). در انتهای فصل رویش، ۳۶ نمونه خاک در سه عمق ۲۰-۰، ۴۰-۲۱ و ۶۰-۴۱ سانتی‌متر و فواصل ۱۷-۰، ۳۴-۱۸ و ۵۰-۳۵ سانتی‌متر، در جهت عمود بر خطوط آبیاری، در جوار گیاهان اکتیو صورت گرفت. پس از تعیین درصد رطوبت وزنی نمونه‌ها و گذراندن خاک از الک ۰/۵ میلی‌متر، مراحل اندازه‌گیری اکتیویته، مطابق با روش ذکر شده در مورد نمونه گیاهی صورت گرفت و در نهایت فسفر کل خاک با استفاده از روش پرکلریک اسید ۶۰ درصد (۲۷) و فسفر قابل جذب با روش اولسن (۱) تعیین گردید و با توجه به موجودی فسفر کل خاک، اکتیویته ویژه نمونه‌ها محاسبه شد (۱۴). آنالیز واریانس و مقایسه میانگین‌ها، در قالب طرح پایه بلوک کامل تصادفی، در چهار تکرار و در اندامهای مختلف گیاهی، دوره‌های برداشت میوه و لایه‌های مختلف پروفیل خاک (به عنوان تابعی از محل استقرار گیاه، عمود بر خطوط آبیاری) صورت پذیرفت.

### نتایج

جدول ۱ نتایج آنالیز ایزوتوپی، در اندامهای مختلف گیاه گوجه فرنگی را نشان می‌دهد. همانطوریکه ملاحظه می‌گردد بیشترین میزان تولید محصول ماده خشک در مورد میوه گیاه گوجه فرنگی بوده (۵/۸۱ تن در هکتار) و سایر اندامها در درجات بعد قرار می‌گیرند. میوه و برگ گیاه بیشترین درصد فسفر را به خود اختصاص داده (۵۵/۰ درصد) و در نتیجه بواسطه تولید ماده خشک بیشتر، کل فسفر محصول نیز در این اندامها بیشتر بوده است. ۴۴/۱ درصد از اتمهای فسفر وارد شده به ریشه گیاه گوجه فرنگی (Pdf) از منبع کود فسفوری بوده و نتایج آماری تفاوت معنی داری در خصوص اندامهای مختلف گیاهی از خود نشان نداده است. ۲۳/۳٪ از کود فسفر دار، مورد استفاده گیاه گوجه فرنگی قرار گرفته که این داده مؤید کارایی مصرف کود، تحت سیستم کود آبیاری قطره‌ای، در شرایط انجام آزمایش می‌باشد. ۶۱/۵٪ از آن تا عمق ۶۰ سانتی‌متری نفوذ کرده و ۱۵/۲٪ خارج از محیط ردیابی قرار گرفته است (شکل ۱). جدول ۲ فسفر حاصل از منبع کود را طی شش هفته برداشت متوالی بررسی می‌نماید. نتایج آماری در سطح ۱ درصد مؤید این نکته می‌باشند که در خلال هفته‌های دوم و سوم، بیشترین

خصوصیات سایر قطره چکانهای سیستم اصلی را دارا باشند. جهت تقسیم پلان کودی ۳۶ دور کوددهی (به فواصل دو روز در میان) در نظر گرفته شد (۲۸). در طول دوره رویش، کود دهی از طریق سیستم مرکزی آبیاری اعمال گردیده و معادل همین مقدار کود، از طریق گالن‌های ۲۰ لیتری به گیاهان اکتیو اعمال شد. کوددهی ازت و پتاس این گیاهان، عیناً مطابق با سایر گیاهان بوده منتهی جهت کوددهی فسفر، از رادیو ایزوتوپ فسفر - ۳۲ استفاده شد.

کود نشاندار فسفر - ۳۲ مورد نیاز، با استفاده از واکنش  $[^{32}\text{S} (n, p) ^{32}\text{P}]$  بصورت ۴/۵ میلی لیتر اسید ارتوفسفریک با اکتیویته ۱۷ میلی کوری در راکتور تحقیقاتی سازمان انرژی اتمی ایران ساخته شد و در نهایت پس از رقیق سازی ایزوتوپی (با فرم معمولی اسید ارتوفسفریک) (۱۴) محلول کودی با اکتیویته ۱۰/۴۳ مگابکرل بر گرم فسفر<sup>۱</sup> بدست آمد. کلیه مراحل استفاده از مواد رادیواکتیو، تحت نظارت بخش فیزیک بهداشت مرکز صورت گرفته بطوریکه انتشار آلودگی محیطی، به حداقل میزان ممکنه کاهش یابد. محصول میوه گوجه فرنگی در شش هفته متوالی (۸۳، ۹۰، ۹۹، ۱۰۴، ۱۱۱ و ۱۲۴ روز پس از کاشت) از بوته گیاهان اکتیو برداشت شد و در انتهای فصل رویش با خارج نمودن تمامی بوته‌ها از خاک، اندامهای گیاهی به ریشه، ساقه و برگ تفکیک گردیدند. نمونه‌های ریشه، به مدت یک شب در آب خیسانده شده و سپس ذرات خاک (توسط آب) از سطح ریشه جدا گردید و در نهایت ریشه‌های زنده جهت آنالیز شیمیایی انتخاب شدند (جهت تشخیص زنده بودن ریشه فقط از معیار رنگ آنها استفاده شد) (۱۵). بمنظور دقت در آزمایشات شیمیایی و ایزوتوپی، سعی گردید تا از اندامهای هوایی گیاه که تماس مستقیم با کود فسفوری نشاندار نداشته‌اند استفاده شود. پس از نمونه گیری فرعی، درصد رطوبت وزنی اندامهای مختلف گیاهی تعیین و پس از خشک و آسیاب نمودن نمونه‌ها، اکتیویته هر نمونه توسط دستگاه Beta Counter تعیین گردید. جهت بررسی تراوش عرضی کود نشاندار شده (ما بین خطوط آبیاری) و در نتیجه تعیین میزان جذب آن توسط گیاهان گارد، نمونه‌گیری تصادفی بر روی میوه‌های گیاهان گارد مجاور با بوته‌های اکتیو (در چهار تکرار) صورت گرفت و متعاقباً

1. MBqg<sup>-1</sup>p<sup>-1</sup>

برداشت محصول صورت گرفته و علی رغم افزایش درصد فسفر در طی هفته‌های آخر (۸۰٪ درصد)، بیشترین استحصال فسفر به هفته‌های دوم و سوم باز می‌گردد. PdfF در طی چهار هفته اول نسبتاً بالا بوده (۴۰ درصد) و این میزان در اواخر دوره رشد کاهش قابل ملاحظه‌ای از خود نشان داده است (۲۴٪). اثر متقابل تولید ماده خشک (D.M.Y)، درصد فسفر و PdfF به شکل کاملاً نمایان، در کارایی مصرف فسفر تاثیر گذاشته، بطوریکه در سطح ۱ درصد می‌توان برآورد نمود که ۶۵ درصد از جذب فسفر بوسیله میوه، در خلال هفته‌های دوم و سوم صورت گرفته است.

جدول ۳ موجودی فسفر کل و قابل تبادل خاک، در اعماق ۰-۲۰، ۲۱-۴۰، ۴۱-۶۰ سانتی متر و فواصل ۰-۱۷، ۱۸-۳۴ و ۳۵-۵۰ سانتی متر در جهت عمود بر خطوط آبیاری را نشان می‌دهد. نتایج آماری (در سطح ۵٪) مؤید این مطلب می‌باشد

که محل تجمع فسفر قابل جذب و کل در یک نقطه بر هم منطبق نبوده بلکه در مورد فسفر قابل جذب نزدیک به گیاه (عمق ۰-۲۰ و فاصله ۰-۱۷ سانتی متر) و در مورد فسفر کل خارج از این محدوده قرار می‌گیرد. جدول ۴ نتایج آنالیز ایزوتوپی توزیع کود فسفوری در پروفیل خاک (در فاصله ۵۰ و عمق ۶۰ سانتی‌متر از قطره چکان) را نشان می‌دهد. با فرض تقسیم پروفیل خاک به ۹ منطقه با جرم یکسان و با توجه به نتایج آنالیز فسفر کل خاک و PdfF مشخص می‌گردد که ۶۱/۵ درصد از کود فسفوری، در پروفیل خاک به فواصل ۵۰ و عمق ۶۰ سانتی‌متر توزیع گردیده است. با سطح احتمال ۵٪ می‌توان گفت که بیشترین تجمع (۹/۴٪) در قطعه واقع در فاصله ۱۸-۳۴ و عمق ۴۱-۶۰ سانتی‌متر بوده است و در نهایت با توجه به نتایج استحصال فسفر توسط اندامهای گیاهی، ۱۵/۲٪ از کود فسفوری از محیط ردیابی خارج گردیده است.

جدول ۱ - محصول ماده خشک، فسفر کل، کل محصول فسفر، فسفر مشتق شده از کود، فسفر محصول مشتق شده از کود و کارایی مصرف کود فسفر در اندامهای مختلف گیاه گوجه فرنگی

اندام گیاهی	ماده خشک تن در هکتار	فسفر کل %	کل محصول فسفر کیلوگرم فسفر در هکتار	فسفر مشتق شده از کود %	فسفر محصول مشتق شده از کود کیلوگرم فسفر در هکتار	کارایی مصرف کود فسفر %
برگ	۳/۳ <sub>B</sub>	۰/۵۷ <sub>A</sub>	۱۸/۹۲ <sub>B</sub>	۳۹/۸ <sub>A</sub>	۷/۵۳ <sub>A</sub>	۷/۷۶ <sub>A</sub>
ریشه	۰/۸۷ <sub>C</sub>	۰/۴۰ <sub>B</sub>	۳/۵۲ <sub>C</sub>	۴۴/۱ <sub>A</sub>	۱/۵۵ <sub>B</sub>	۱/۶۰ <sub>B</sub>
ساقه	۱/۸۳ <sub>C</sub>	۰/۲۸ <sub>C</sub>	۵/۰۴ <sub>C</sub>	۴۲/۲ <sub>A</sub>	۲/۱۳ <sub>B</sub>	۲/۲۰ <sub>B</sub>
میوه	۵/۸۱ <sub>A</sub>	۰/۵۴ <sub>A</sub>	۳۱/۵۹ <sub>A</sub>	۳۵/۹ <sub>A</sub>	۱۱/۳۴ <sub>A</sub>	۱۱/۶۹ <sub>A</sub>
%CV	۲۱	۹	۲۴	۳۲	۲۹	۳۳

- داده‌ها میانگین چهار تکرار

- حروف مشابه در یک ستون نشانگر عدم وجود تفاوت معنی دار در سطح ۱٪ (آزمون دانکن)

جدول ۲- نتایج تجزیه ایزوتوپی کارایی مصرف کود اسید فسفریک در طی شش هفته برداشت میوه گیاه گوجه فرنگی

تاریخ برداشت (روز پس از کاشت)	ماده خشک تن در هکتار	فسفر کل %	کل محصول فسفر کیلوگرم فسفر در هکتار	فسفر مشتق شده از کود %	فسفر محصول مشتق شده از کود کیلوگرم فسفر در هکتار	کارایی مصرف کود فسفر %
۸۳	۰/۵۸ <sub>C</sub>	۰/۵۲ <sub>B</sub>	۳/۰۰ <sub>B</sub>	۳۳/۶۶ <sub>AB</sub>	۱/۰۱ <sub>B</sub>	۱/۰۴ <sub>B</sub>
۹۰	۲/۱۶ <sub>A</sub>	۰/۴۳ <sub>B</sub>	۹/۳۱ <sub>A</sub>	۴۵/۹۶ <sub>A</sub>	۴/۲۸ <sub>A</sub>	۴/۴۱ <sub>A</sub>
۹۹	۱/۵۸ <sub>B</sub>	۰/۵۷ <sub>B</sub>	۹/۰۳ <sub>A</sub>	۳۴/۶۵ <sub>AB</sub>	۳/۱۳ <sub>A</sub>	۳/۲۳ <sub>A</sub>
۱۰۴	۰/۵۲ <sub>C</sub>	۰/۴۷ <sub>B</sub>	۲/۴۴ <sub>B</sub>	۴۵/۵۳ <sub>A</sub>	۱/۱۱ <sub>B</sub>	۱/۱۴ <sub>B</sub>
۱۱۱	۰/۷۱ <sub>C</sub>	۰/۸۰ <sub>A</sub>	۵/۶۹ <sub>AB</sub>	۲۱/۹۸ <sub>B</sub>	۱/۲۵ <sub>B</sub>	۱/۲۹ <sub>B</sub>
۱۲۴	۰/۲۶ <sub>C</sub>	۰/۸۱ <sub>A</sub>	۲/۱۲ <sub>B</sub>	۲۵/۹۹ <sub>B</sub>	۰/۵۵ <sub>B</sub>	۰/۵۷ <sub>B</sub>
%CV	۲۴	۱۲	۳۳	۲۳	۲۶	۲۹

- داده‌ها میانگین چهار تکرار

- حروف مشابه در یک ستون نشانگر عدم وجود تفاوت معنی دار در سطح ۱٪ (آزمون دانکن)

جدول ۳- موجودی فسفر کل و قابل جذب خاک ( بر حسب قسمت در میلیون) در اعماق و فواصل مختلف نسبت به گیاه

فاصله از گیاه (سانتیمتر)									
۳۵-۵۰			۱۸-۳۴			۰-۱۷			
عمق (سانتیمتر)			عمق (سانتیمتر)			عمق (سانتیمتر)			موجودی
۴۱-۶۰	۲۱-۴۰	۰-۲۰	۴۱-۶۰	۲۱-۴۰	۰-۲۰	۴۱-۶۰	۲۱-۴۰	۰-۲۰	فسفر
۱۶D	۲۱D	۳۵C	۲۱D	۳۵C	۴۲B	۴۴B	۴۳B	۱۰۸A	قابل جذب
۵۸۳C	۱۰۴۸B	۱۶۱۰A	۱۶۵۲A	۱۱۶۱B	۱۷۴۸A	۱۱۶۸B	۶۱۱C	۵۷۰C	کل

- داده ها میانگین چهار تکرار

- حروف مشابه در یک سطر نشانگر عدم وجود تفاوت معنی دار در سطح ۵٪ (آزمون دانکن)

جدول ۴- موجودی فسفر خاک، درصد فسفر مشتق شده از کود، میزان فسفر باقیمانده از کود و درصد کود فسفوری باقیمانده در اعماق و فواصل مختلف پروفیل خاک

فاصله از گیاه cm									
۳۵-۵۰			۱۸-۳۴			۰-۱۷			
عمق (سانتیمتر)			عمق (سانتیمتر)			عمق (سانتیمتر)			
۴۱-۶۰	۲۱-۴۰	۰-۲۰	۴۱-۶۰	۲۱-۴۰	۰-۲۰	۴۱-۶۰	۲۱-۴۰	۰-۲۰	
۹۰۰	۹۰۰	۹۰۰	۹۰۰	۹۰۰	۹۰۰	۹۰۰	۹۰۰	۹۰۰	جرم خاک تن در هکتار
۵۸۳C	۱۰۴۸B	۱۶۱۰A	۱۶۵۲A	۱۱۶۱B	۱۷۴۸A	۱۱۶۸B	۶۱۱C	۵۷۰C	فسفر کل قسمت در میلیون
۵۲۵	۹۴۳	۱۴۴۹	۱۴۸۷	۱۰۴۵	۱۵۷۳	۱۰۵۱	۵۵۰	۵۱۳	PC کیلوگرم فسفر در هکتار
۱/۴۲A	۱/۷۴ABC	۱/۵۵BC	۱/۷۵ABC	۱/۷ABC	۱/۳۷C	۱/۷۷ABC	۱/۱۷AB	۱/۳۳AB	% PdfF
۶/۹	۵/۷	۶/۴	۹/۲	۷/۷	۵/۷	۶/۶	۵/۶	۶/۵	RPFf کیلوگرم در هکتار
۷/۰C	۵/۸D	۶/۵C	۹/۴A	۷/۹B	۵/۸D	۶/۷C	۵/۷D	۶/۷C	% PFRS

- داده ها میانگین چهار تکرار

- حروف مشابه در یک سطر نشانگر عدم وجود تفاوت معنی دار در سطح ۵٪ (آزمون دانکن)

(PC=Soil Phosphorus Count, RPFf=Residual P from Fertilizer, PFRS= Phosphorus Fertilizer Remaind in the Soil)

## بحث

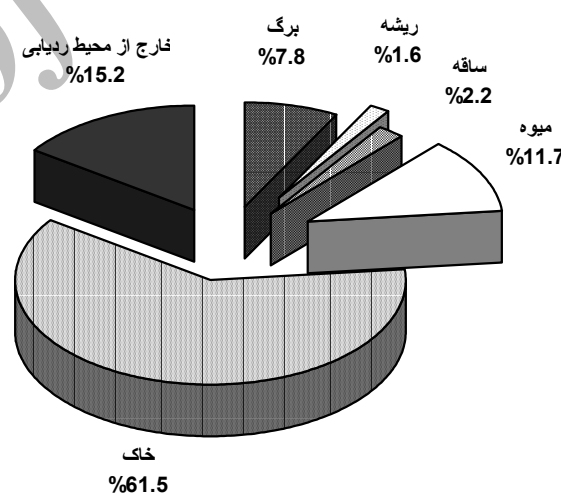
روی ذرت) و با استفاده از محلول پتاسیم دی هیدروژن فسفات نشاندار شده با فسفر-۳۲ و انجام آبیاری به صورت سنتی، % PdfF را ۴۶/۴ درصد برآورد نمودند. ترامونتینی (۱۹۹۵) با استفاده از رادیو ایزوتوپ فسفر-۳۲ (تحت آزمایش مزرعه‌ای بر روی گندم) % PdfF را ۴۰٪ گزارش نمود. % PdfF گزارش شده توسط حبیب اله و همکاران در آزمایش مزرعه‌ای بر روی گندم بین ۵۷/۸ و ۷۲/۹ بود. در خصوص تاثیر سیستم آبیاری بارانی در جذب فرم جامد کود فسفوری، پاپادوپولوس (۱۹۹۵) در آزمایش مزرعه‌ای بر روی سیب زمینی، % PdfF را تحت سیستم سنتی ۸/۱۷٪ و در مورد سیستم کود آبیاری ۱۵٪ بیان نمود. و

یکی از مهمترین فاکتورها در بررسی توزیع کود در اندامهای گیاهی، درصد فسفر مشتق شده از کود در گیاه (یا PdfF) می‌باشد. به نظر می‌رسد با توجه به تحرک ناچیز کود فسفوری در استعمال سنتی آن (قرار دهی فرم جامد کود در محیط خاک و انجام آبیاری به روش سنتی) % PdfF کاهش قابل ملاحظه‌ای، در مقایسه با سیستم کودآبیاری از خود نشان دهد. در این راستا آریف و همکاران (۱۹۹۲) در آزمایش بر روی گیاه سویا، % PdfF را بین ۶ الی ۱۰ درصد گزارش نمودند. کاتو و همکاران (۱۹۹۵) با استفاده از روش ردیابی فسفر نشاندار (تحت آزمایش گلدانی بر

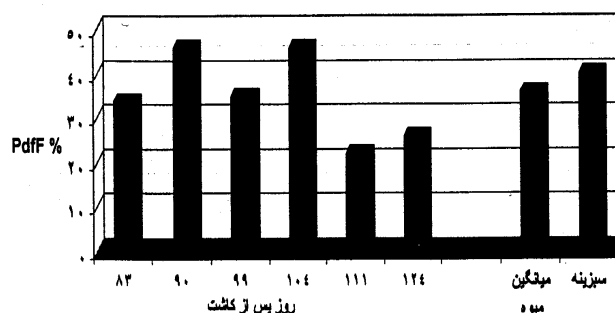
بطور کلی گیاه فسفر را از منابع خاک و کود به نسبت مستقیم با میزان فسفر قابل دسترس از هر منبع جذب می‌کند و در صورتیکه مقادیر معتناهی فسفر قابل دسترس از طریق کود در اختیار گیاه قرار گیرد طبعا سهم خاک در تامین فسفر گیاه کاهش می‌یابد (۵، ۱۶، ۳۱). بدیهی است که استفاده از منابع فسفر با حلالیت بالا و اعمال آن با تواتر زیاد میتواند موجب افزایش PdfF % گردد اما افزایش درصد PdfF صرفاً متکی به این دو عامل نمی‌باشد، بطوریکه با استعمال حجم انبوه عنصر کودی تحت سیستم سنتی نیز می‌توان نتایج مشابه با اثرات عوامل فوق ملاحظه نمود. لذا با مقایسه PdfF ها نمی‌توان در خصوص سودمندی سیستم‌های متفاوت کودرسانی اظهار نظر نمود و ارائه PdfF بالا بدین معنی نمی‌باشد که سیستم مذکور در این خصوص سودمند بوده است. لذا به نظر میرسد که جهت مقایسه و بررسی سودمندی سیستم کودرسانی (در خصوص جذب عناصر غذائی توسط گیاه) کارایی مصرف کود پارامتر قابل اطمینان‌تری باشد. متداول‌ترین روش بیان کارایی مصرف زراعی کود<sup>۱</sup>، کیلوگرم ماده خشک تولیدی بر اساس یک کیلوگرم عنصر مورد مصرف می‌باشد. در طرح حاضر، به ازاء هر کیلو گرم فسفر (مورد مصرف)، ۵۹/۹ کیلو گرم ماده خشک میوه و ۱۲۲ کیلو گرم ماده خشک گیاهی تولید گردیده است. در این راستا عبدو (۱۹۹۶) در مقایسه واریته‌های گندم، بیشترین و کمترین کارایی مصرف زراعی کود را به ترتیب ۴۱۰ و ۲۲۰ کیلو گرم ماده خشک به ازاء مصرف یک واحد کود فسفری گزارش نمود. تانه و همکاران (۱۹۹۶) در مورد گیاه برنج PUE زراعی را ۳۳۴ کیلو گرم ماده خشک به ازاء مصرف یک واحد کود فسفری برآورد نمودند. عدم مطابقت نتایج طرح حاضر با نتایج تحقیقات گذشته را می‌توان به روش ارزیابی مقدار فسفر مصرف شده (هسته‌ای و غیر هسته‌ای)، استعمال میزان متفاوت کود، نوع گیاه و تفاوت آنها در خصوص جذب فسفر و در نهایت تفاوت عمده در میزان تولید محصول عطف نمود. لذا در مقایسه توزیع عنصر کودی در بافت‌های گیاهی تحت سیستم‌های مختلف، کاربرد نتایج حاصل از PUE زراعی، محدود می‌گردد.

تنها روش مستقیم اندازه‌گیری میزان جذب عناصر غذائی از کودها، استفاده از روشهای هسته‌ای است (۱۴). بطور کلی در

در نهایت در تحقیق حاضر (به عنوان نخستین طرح تحقیقاتی در خصوص ردیابی رادیو ایزوتوپ فسفر - ۳۲ تحت سیستم کودآبیاری قطره‌ای)، میانگین PdfF ۴۰/۵ درصد برآورد گردید که مؤید این مطلب می‌باشد که در نتیجه استعمال اسید فسفریک تحت سیستم کود آبیاری قطره‌ای، ۴۰/۵ درصد از اتمهای فسفر موجود در اندامهای گیاه گوجه فرنگی، از کود مشتق شده است (شکل ۲). درخصوص تمایل میوه گیاه نسبت به جذب فسفر از منبع کود، دوره‌های دوم و چهارم برداشت محصول در درجه نخست قرار گرفته و کاهش آن در خلال هفته سوم، مؤید عدم وجود شرایط مساعد در انتقال فسفر کود به اندامهای گیاهی می‌باشد. با رسیدن به اواخر دوره رشد تمایل میوه‌های گوجه فرنگی در خصوص جذب فسفر کود به تدریج کاهش یافته بطوریکه در هفته آخر برداشت به ۲۶ درصد تنزل می‌یابد.

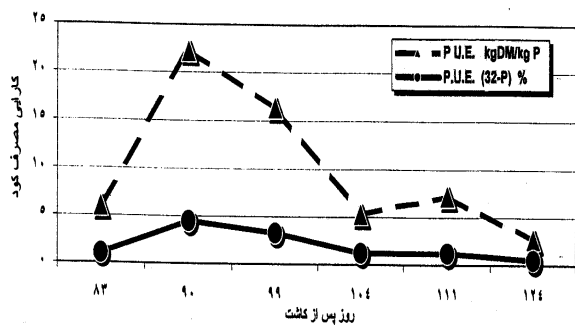


شکل ۱ - توزیع کود فسفری در اندامهای مختلف گیاهی و خاک با استفاده از رادیوایزوتوپ فسفر - ۳۲



شکل ۲ - درصد فسفر مشتق شده از کود، طی دوره‌های مختلف برداشت میوه گوجه فرنگی





شکل ۳ - مقایسه کارایی مصرف زراعی کود فسفوری با PUE ایزوتوپی در طی شش هفته متوالی برداشت میوه گوجه فرنگی

علت دیگر کاهش کارایی مصرف کود فسفوری را می‌توان به انتقال عناصر کودی به خارج از محیط ریشه گیاه نسبت داد. یکی از پیامدهای روش کودآبیاری قطره‌ای، محدوده کوچک توزیع سیستم ریشه‌ای می‌باشد. بطوریکه مشاهدات مزرعه‌ای در خصوص عمق ریشه دوانی گیاه، مؤید این مطلب بود که قسمت اعظم توسعه سیستم ریشه‌ای (و متعاقب آن جذب فعال) در عمق ۴۵-۰ سانتی متر بوده و این امر مخالف عمق ریشه دوانی گیاه در روشهای متعارف کوددهی یعنی ۰/۶ تا ۱/۲ متر می‌باشد. علی‌رغم حرکت ناچیز فسفر از منابع مختلف کودهای جامد در خاک (۸، ۱۰، ۱۹) تحقیق حاضر نشان داد که در صورت انحلال این کود در آب آبیاری، این عنصر می‌تواند مسافتهای بالنسبه زیادتری را همراه با آب آبیاری پیموده و نتیجتاً از محدوده ریشه گیاه خارج گردد. در این راستا شکل ۴ بیانگر توزیع کود فسفوری در پروفیل خاک (در فاصله ۵۰ و عمق ۶۰ سانتی‌متری) عمود بر خطوط آبیاری می‌باشد. همانطوری که ملاحظه می‌گردد با افزایش عمق، بر تجمع فسفر کود افزوده شده لذا میتوان پیش بینی نمود که قسمتی از کود، از این محدوده خارج شده باشد. بررسی اکتیویته گیاهان گارد، مؤید این مطلب بود که ۴۴٪ از کود فسفوری، توسط گیاهان ردیفهای مجاور دریافت گردیده است (۴۳۰ گرم فسفر در هکتار). لذا محدوده خارج از محیط ردیابی را میتوان به نفوذ عمقی و جانبی کود نسبت داد. در مقایسه جداول ۵ و ۶ مشخص می‌گردد که در پاره‌ای از موارد، محل تجمع فسفر کود و فسفر کل خاک بر هم منطبق بوده و عدم تطبیق نتایج Pdf و PFRS % مؤید این مطلب می‌باشد که تمایل به تراوش جانبی کود (با فاصله گرفتن از خطوط آبیاری) به تدریج کم می‌شود. لذا چنین

طول هر فصل رشد، گیاهان فقط می‌توانند جزء کوچکی از فسفر کود را بازیابی کنند که معمولاً کمتر از ۲۵ درصد می‌باشد (۳). به عنوان مثال با کاربرد نواری کود فسفوری (به میزان ۱۲ کیلو گرم فسفر در هکتار) در گیاهان ذرت، سویا و سیب زمینی به ترتیب ۱۵/۲، ۱۰/۴ و ۲۷/۲ درصد از کود (تحت سیستم سنتی کود دهی) توسط گیاه از کود دریافت شده است (۳). سایر تحقیقات ایزوتوپی (تحت سیستم‌های سنتی استعمال کود) در راستای تایید نتایج فوق الذکر می‌باشند. مک لافلین و همکاران (۱۹۸۸) در آزمایش تناوب گندم و علوفه گزارش نمودند که ۱۱/۶ درصد از کود فسفوری مورد بهره‌برداری قرار گرفته است (۲۰). آریف در آزمایش بر روی گیاه سویا به PUE معادل ۱۲ درصد دست یافت. بیشترین استحصال فسفر از سیستم کشت برنج - آزولا (۱۹۹۵) توسط هریم بورگاما ۲۸ درصد گزارش گردید. پاپادوپولوس (۱۹۹۲) با استفاده از روش تفاضلی (غیر ایزوتوپی) و با استعمال محلول کودی ۴۰ قسمت در میلیون فسفر (تحت سیستم کود آبیاری قطره‌ای در گیاه سیب زمینی) استحصال ۲۲ کیلوگرم فسفر در هکتار، توسط غده‌های این گیاه را گزارش نمود. لذا با توجه به اینکه در بررسی حاضر ۲۳/۳ درصد از کود فسفوری مورد استفاده گیاه گوجه فرنگی قرار گرفته و با توجه به کارایی مصرف ۳۵ - ۲۵٪ فسفر در نرم جهانی، تحت سیستم کود آبیاری قطره‌ای (۲۳)، علت عدم نیل به بیشینه این مقدار را میتوان بصورت زیر بیان نمود:

در روزهای ۹۱ تا ۱۰۷ روز پس از کاشت، به علت بادهای گرم در منطقه کرج، ریزش جوانه‌های گل ملاحظه گردید و متعاقب آن، صدمات قارچی و ویروسی، رویش گیاه را تحت تأثیر قرار داد. با توجه به مراقبتهای ویژه بعمل آمده، گرچه مشکل مرتفع گردید اما در خلال این مدت، جذب عناصر کودی (توسط گیاه) تحت تأثیر قرار گرفته و بدیهی است که نتیجه امر کاهش میزان کارایی مصرف کود گردیده است. در این راستا شکل ۳ بخوبی مؤید کاهش PUE (طبق هر دو روش سنتی و ایزوتوپی) در طول این دوره می‌باشد. بطوریکه علی‌رغم افزایش تدریجی آن در اواخر دوره رشد گیاه، تاثیرات مذکور بر جا مانده و بخشی از کاهش کارایی مصرف کود فسفوری را می‌توان بدین امر نسبت داد. لذا به نظر می‌رسد در خلال دوره بیماری گیاه، کاهش و یا قطع عملیات کوددهی منجر به افزایش کارایی مصرف آن کود خواهد گردید.

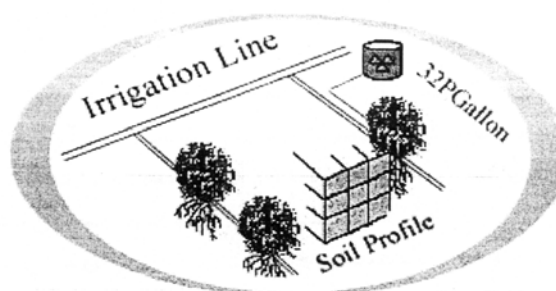
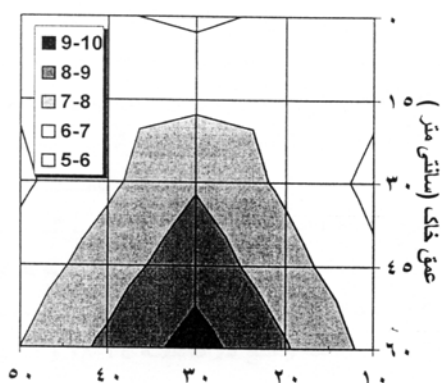
خطوط آبیاری، باعث افزایش توزیع کود (و متعاقباً مصرف آن توسط گیاه) در آن منطقه خواهد گردید. لذا تعمیم نتایج توزیع جانبی کود به آن منطقه، خالی از اشکال نخواهد بود. بنابراین جهت بررسی سرنوشت کامل کود فسفوری تحت سیستم کود آبیاری قطره‌ای، گسترش مناطق نمونه‌برداری از خاک، امری ضروری به نظر می‌رسد. لذا پیشنهاد می‌گردد تا گستره نمونه برداری، در مناطق بین دو قطره چکان و همچنین بین خطوط آبیاری توسعه داده شود و ضمناً نمونه برداری تا منطقه زیر پیاز رطوبتی خاک ادامه یابد.

### سپاسگزاری

وظیفه خود می‌دانیم بدین وسیله از مساعدت‌های ریاست محترم وقت مرکز تحقیقات کشاورزی و پزشکی هسته‌ای کرج جناب آقای دکتر حسین آفریده و سرپرست محترم بخش کشاورزی هسته‌ای جناب آقای دکتر فرامرز مجد سپاسگزاری نموده و مراتب تشکر خود را از بخش حفاظت رادیولوژیک محیط زیست سازمان انرژی اتمی ایران اعلام داشته و در نهایت، از همکاری سرکار خانم ملوک ابهری بواسطه زحمات بی‌شائبه ایشان در خصوص آماده‌سازی نمونه‌ها صمیمانه تشکر می‌نماییم.

بنظر می‌رسد که (علی‌رغم تحرک ناچیز فسفر در خاک) در صورت اختلاط آن با آب آبیاری، مقادیر معتدله‌ای از کود فسفوری، از منطقه دسترسی ریشه گیاهان خارج گردد. در این راستا اگر محدوده توسعه سیستم ریشه‌های گیاه به عمق ۴۵ و فاصله ۳۴ سانتی متری از گیاه محدود گردد، نتیجتاً با توجه به ۱۵٪ کود که خارج از محیط ردیابی قرار گرفته، می‌توان ۵۰ درصد اتلاف فسفر کود را پیش‌بینی نمود. لذا جهت بالا بردن کارایی مصرف کود فسفوری تحت سیستم کود آبیاری قطره‌ای اولاً باید برآورد حجم آب آبیاری بدقت صورت گرفته تا تراوش عمقی به حداقل میزان خود کاهش یابد. ثانیاً توصیه می‌گردد ابتدا پروفیل خاک با حجم متعارفی از آب مرطوب گردد تا پس از انجام کود دهی (در مقاطع میانی و پایانی آبیاری) غلظت عنصر مزبور در پروفیل سطح الارض خاک افزایش یابد. ثالثاً با توجه به کاهش سودمندی استفاده از کود فسفوری در هفته‌های آخر برداشت، سعی گردد تا اعمال کود فسفوری، چند هفته قبل از اتمام فصل رویش قطع گردد تا فسفرهای باقیمانده در خاک، فرصت جذب توسط گیاه را داشته باشند. با توجه به فرآیندهای پیچیده توزیع کود فسفوری در پروفیل خاک چنین بنظر می‌رسد که تداخل سیستم ریشه‌ای در امتداد

فاصله از گیاه (سانتی متر)



شکل ۴ - توزیع نسبی فسفر باقیمانده از کود (PFRS %) در پروفیل خاک، در جهت عمود بر خطوط آبیاری

### REFERENCES

- امامی، ع.، علی‌احیائی، م. و ع. ا. بهبهانی زاده، ۱۳۷۵. روش‌های تجزیه شیمیایی خاک و گیاه. نشریه فنی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، جلد اول، شماره های (۸۹۳ و ۹۸۲).

### مراجع مورد استفاده

۲. ثاقب، ن.، حبیبی، م. ص.، موسوی شلمانی، م. ا.، خراسانی، ع. و ح. عباسعلیان، ۱۳۸۰. استفاده از روش ایزوتوپی ازت - ۱۵ برای تعیین کارایی اوره در کود آبیاری گوجه فرنگی. مجموعه مقالات کوتاه، هفتمین کنگره علوم خاک ایران: ۴۲۰ - ۴۱۹.
۳. ملکوتی، م. ج. و س. ع. ریاضی همدانی، ۱۳۷۰. کودها و حاصلخیزی خاک (ترجمه) مرکز نشر دانشگاهی، شماره ۵۹۸، تهران ۸۰۰ صفحه.
۴. موسوی شلمانی، م. ا.، ثاقب، ن.، حبیبی، م. ص. و ع. خراسانی، ۱۳۸۰. استفاده از رادیو ایزوتوپ فسفر - ۳۲ در تحقیقات کودآبیاری. مجموعه مقالات کوتاه، هفتمین کنگره علوم خاک ایران: ۲۹۷-۲۹۵.
۵. موسوی شلمانی، م. ا.، ثاقب، ن.، رفیعی، ح.، حبیبی، م. ص. و ع. خراسانی، ۱۳۸۰. برآورد و مقایسه کارایی مصرف کود ازته طبق روشهای تفاضلی و ایزوتوپی در گیاه گوجه فرنگی تحت سیستم کود آبیاری قطره ای. نشریه علمی سازمان انرژی اتمی ایران، شماره ۲۴: ۴۷ - ۵۵.
6. Arief, A., H. Rasjid, & W.H. Sisworo. 1993. The influence of land amelioration on P uptake and the yield of soybean, Banda Tenaga Atom National, Jakarta, (Indonesia), Proceeding of a scientific meeting, BATAN: 131-144.
7. Bar-Yosef, B., B. Sagiv. & T. Markovitch, 1989. Sweet corn response to surface and subsurface trickle phosphorus fertigation, *Agronomy Journal*, Vol. 81(3): 443-447.
8. Bar-Yosef, B. 1999. Advances in fertigation, *Advances in Agronomy*, Vol.65: 1-77.
9. Burt, C.M., P.D. Stuart, & P.E. Styles. 1994. Drip and microirrigation for trees, vines and row crops, *Irrigation Training and Research Center (ITRC), California Polytechnic State University (Cal Poly)*: 105.
10. Eghbal, B., D.H. Sander & J. Skopp. 1990. Diffusion, adsorption and predicted longevity of banded phosphorus fertilizer in three soils, *Soil Science Society of America Journal (USA)*, Vol.54 (4): 1161-1165.
11. Fardau, J.C., G. Guiraud & C. Marol. 1994. Bioavailable soil P as a key to sustainable agriculture, *Nuclear Techniques in Soil- Plant Studies for Sustainable Agriculture and Environmental Preservation, Proceeding of a Symposium*: 131-144.
12. Habibullah, A.K.M., S.M. Rahman, M. Enayetullah, M.R. Biswas & M. Idris. 1980. Studies 2: to determine the efficiency of fertilizer P utilization by wheat in Bangladesh soils using tracer techniques, *Bangladesh Association for the Advancement of Science, Dacca, Proceedings of the 4<sup>th</sup> and 5<sup>th</sup> Bangladesh Science Conference, BAAS*: 33.
13. Hirimburegama, W.K., D.L. Eskew, F. Zapata & S.K.A. Danso. 1994. Fate of phosphorus in rice-azolla dual culture system, *Nuclear Techniques in Soil- Plant Studies for Sustainable Agriculture and Environmental Preservation, Proceeding of a Symposium*: 651-654.
14. IAEA. 1990. Use of nuclear techniques in studies of soil- plant relationships, *Training Course Series No. 2*: 26-127.
15. IAEA. 1996. Isotope studies on plant productivity, *Results of a co-ordinated research programme, TECDOC-889*.
16. IAEA. 1970b. Fertilizer management practices for maize results of experiments with isotopes. *Technical Report Series No. 121 Vienna - Austria*.
17. Kato, N., T. Koyama, K. Watanabe, Y. Kobayashi & H. Niimi. 1995. Available P in Andosols cropped with Italian ryegrass evaluation in the field by the means of <sup>33</sup>P isotopic dilution method, *Japanese -Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, Vol.66 (4): 331-336.
18. Kato, N., J.C. Fardeau & F. Zapata. 1994. Evaluation of the residual effect of P fertilizer on plant P nutrition using isotopic techniques, *Nuclear Techniques in Soil- Plant Studies for Sustainable Agriculture and Environmental Preservation, Proceeding of a Symposium*: 189-196.
19. Lauer, D.A. 1988. Vertical distribution in soil of sprinkler-applied phosphorus, *Soil-Science Society of America Journal (USA)*, Vol.52(3): 862-868.
20. Mclaughlin, M.J., A.M. Alston & J.K. Martin. 1988. Phosphorus cycling in wheat -pasture rotations, 1. The source of phosphorus taken up by wheat, *Australian-Journal-of-Soil-Research*. Vol.26 (2): 323-331.

21. Miller, R.W. & R.L. Donahue. 1990. An introduction to soil and plant growth, Prentice-Hall International Editions ISBN 0-13-820333-4(USA): 768 pp.
22. Nerson, H., M. Edelstein, R. Berdugo & Y. Ankorion. 1997. Monopotassium phosphate as a phosphorus and potassium source for greenhouse-winter-grown-cucumber and muskmelon, *Journal of Plant Nutrition*, Vol.20 (2/3): 335-344.
23. Papadopoulos, I. 1994. Use of labeled fertilizers in fertigation research, *Nuclear Techniques in Soil- Plant Studies for Sustainable Agriculture and Environmental Preservation*, Proceeding of a Symposium: 399-410.
24. Papadopoulos, I. 1992. Phosphorus fertigation of trickle-irrigated potato, fertilizer research: *An International Journal on Fertilizer Use and Technology*, Vol.31 (1): 9-13.
25. Prayoon, S. 1992. Availability of phosphate fertilizer on Azolla in paddy soil, *Agricultural Development Research Center, Khon Kaen (Thailand)*: 504-516.
26. Rolas, S., D. Tramontini & N.O. Barbaro. 1994. Evaluation of residual fertilizer effects using labeled fertilizer, *Nuclear Techniques in Soil- Plant Studies for Sustainable Agriculture and Environmental Preservation*, Proceeding of a Symposium: 157-164.
27. Ryan, J., S. Garabet, K. Harmsen & A. Rashid. 1996. A soil and plant analysis manual adapted for the west Asia and North Africa region, ICARDA. Syria. 140 pp.
28. Sagheb, N., M.S. Hobbi, M.A. Mousavi Shalmani & A. Khorasani. 1999. Evaluation of urea fertigation intervals effect on tomato cultivation, IAEA Scientific Report (RAW/5/007), Soil and Water Management and Crop Nutrition Section, Agricultural Dep. Atomic Energy Organization of Iran.
29. Salazar, R., J. Guadalupe. 1992. Effect of acid and ferric drip fertigation on alkaline soil and on *Prunus Salicina L. CV. Methley* under mulching, Montecillo, Mex. (Mexico): 217.
30. Tramontini, S.R. & N. O. Barbaro. 1994. Evaluation of residual fertilizer effects using labeled fertilizers, *Nuclear Techniques in Soil- Plant Studies for Sustainable Agriculture and Environmental Preservation*, Proceeding of a Symposium: 157-164.
31. Vose, P. B. 1980. Introduction to nuclear techniques in agronomy and plant biology, Pergamon Press, USA.

Archive

## Use of $^{32}\text{P}$ Radioisotope for Assessing Added Phosphorus Distribution in Tomato Plant and Soil Under Trickle Fertigation

M. A. MOUSAVI SHALMANI<sup>1</sup>, N. SAGHEB<sup>2</sup> AND A. KHORASANI<sup>3</sup>

1, 2, 3, Scientific Staffs and Researcher  
of Nuclear Research Center for Agriculture and Medicine  
Use of Nuclear Techniques in Soil and Water Management and Plant Nutrition group  
Nuclear Agriculture Section. Atomic Energy Organization of Iran  
Accepted June. 11, 2003

### SUMMARY

The field experiment was conducted under trickle fertigation at the experimental field of Nuclear Research Center for Agriculture and Medicine in four replications. The plot size was 3×10 meter with three irrigation lines (one meter apart from each other). The injections of fertilizers were down by the means of a single fertigator pump. Soil moisture monitoring, and irrigation scheduling, were down by the means of neutron moisture gauge. The fence separated 15 plants and three drippers in the middle row of each fence were blocked and plants received  $^{32}\text{P}$  labelled phosphorus through 20 litter's plastic containers. The specific activity of the labeled fertilizer was 10.43 MBqg<sup>-1</sup>P<sup>-1</sup>. The total amount of labeled fertilizer divided into 36 units and applied with each irrigation. Fruits were harvested 6 times. In each replication, nine soil samples were collected (at three different depths) and each sampling procedure was repeated twice (20 cm apart from each other perpendicular to the irrigation line). Determination of the activity (dps) of the soil and plant materials was done by radioassay technique using appropriate detector (Beta Counter). The results showed, 44.1 percent of total phosphorus in the root, derived from labelled fertilizer and there were no significant difference (%5 level) for other plant organs. %23.3 of phosphorus fertilizer used by tomato plant, that refers to fertilizer use efficiency under current design condition. Phosphorus fertilizer use efficiency for fruit, leaf, stem and root were %11.7, %7.8, %2.2 and %1.6 respectively. The highest amount of phosphorus absorption was measured during the first and second harvest time (%65). %61.5 of phosphorus fertilizer was leached up to 60 cm depth and %15.2 was considered as out of tracing field.

**Key words:**  $^{32}\text{P}$ , Fertigation, Tomato, Phosphorus fertilizer use efficiency, Phosphorus distribution into the soil.