



## حرکت پتاسیم در خاک با به کارگیری روش‌های مختلف آبیاری با اعمال شیوه‌های گوناگون توزیع آن

\*خلیل اژدری

استادیار گروه آب و خاک، دانشگاه صنعتی شاهرود  
تاریخ دریافت: ۹۱/۳/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۱/۱۱

### چکیده

توزیع مواد مغذی مورد نیاز گیاه به شیوه‌های صحیح، گام مهمی برای رسیدن به کشاورزی پایدار محسوب می‌شود. این پژوهش به مطالعه حرکت پتاسیم در خاک با به کارگیری سیستم کود آبیاری، آبیاری قطره‌ای و آبیاری فارو با کاشت گیاه ترب در یک خاک لومی شنی می‌پردازد. برای انجام پژوهش سیستم‌های آبیاری بالا در یک مزرعه تحقیقاتی در شاهرود پیاده گردید. مقدار پتاسیم به کار رفته ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار بود. توزیع کود در سیستم کود آبیاری به صورت تزریق محلول و در آبیاری قطره‌ای و فارو دستی انجام گرفت. نتایج به دست آمده نشان داد که در سیستم کود آبیاری، پتاسیم به طور عمده در لایه‌های بالایی خاک (عمق ۰-۲۵ سانتی متری) باقی مانده و از ناحیه ریشه گیاه خارج نشده است و کمترین مقدار تراکم این عنصر غذایی که برابر مقدار اولیه آن در خاک می‌باشد، در لایه‌های پایینی خاک (عمق ۴۰-۲۵ سانتی متری) یافت گردید. نتایج دیگر پژوهش نشان داد که در سیستم آبیاری قطره‌ای پتاسیم به طور عمده در لایه میانی خاک (عمق ۳۰-۲۰ سانتی متری) تمرکز یافته است. همچنین در آبیاری فارو قسمت اعظم پتاسیم اضافه شده به خاک به لایه‌های پایین‌تر حرکت کرده و پتانسیل آب‌شویی را تقویت نمود. نتایج نهایی پژوهش نشان داد در سیستم کود آبیاری که توزیع کود در ۳ مقطع زمانی مناسب (۷، ۱۹ و ۳۱ روز پس از کاشت) انجام گرفت، عملکرد محصول ۱۵۲۰۰ کیلوگرم در هکتار بود که در مقایسه با روش‌های دیگر حداقل ۲۶ درصد افزایش داشته است. همچنین این سیستم نشان‌دهنده بالا بودن بازده مصرف آب (۷/۴ کیلوگرم بر مترمکعب) و بازده جذب پتاسیم (۶۴ درصد) در مقایسه با تیمارهای دیگر بود.

واژه‌های کلیدی: کود آبیاری، آبیاری قطره‌ای، فارو، توزیع پتاسیم، حرکت پتاسیم

مقدمه

امروزه کشاورزی مدرن به‌طور عمده با به‌کارگیری عوامل گران‌قیمتی مانند کودهای شیمیایی مرغوب، آفت‌کش‌ها، بذرهای مناسب، پیشرفته‌ترین روش آبیاری و مدیریت علمی برای اداره سیستم‌های مکانیزه بستگی دارد. از این نظر مصرف بهینه کودهای شیمیایی برای بالا بردن سطح تولید ضروری است (سینک و همکاران، ۲۰۰۶). آبیاری قطره‌ای روشی مؤثر برای آبیاری و توزیع کودهای شیمیایی می‌باشد (شاکین‌وان و همکاران، ۲۰۱۲). توزیع صحیح کودهای شیمیایی، آلودگی‌های زیست‌محیطی را کاهش می‌دهد (کیسی و پاول، ۲۰۱۲؛ وگلر و همکاران، ۲۰۰۹). توزیع مواد مغذی از طریق آبیاری قطره‌ای باعث بهبود بازده مصرف این مواد، پخش و تثبیت آن‌ها در ناحیه ریشه و نبود شستشوی این مواد از ناحیه بالا می‌شود (زارع‌ایبانه و همکاران، ۲۰۱۰). در سال‌های اخیر پژوهش‌های بسیاری برای حرکت آب و مواد مغذی در خاک صورت گرفته است، اما مطالعه در مورد حرکت پتاسیم به روش آبیاری قطره‌ای بسیار اندک است. اطلاعات به‌دست آمده از حرکت مواد مغذی در اثر آبیاری قطره‌ای در طراحی سیستم‌های کود آبیاری کمک شایانی را خواهد نمود چون با اطلاع از نحوه حرکت مواد مغذی به روش کود آبیاری می‌توان کمیت مواد تجمع‌یافته در ناحیه ریشه را به‌دست آورده و در طراحی این سیستم، از توزیع‌کننده یا قطره‌چکان‌هایی استفاده نمود که بتوانند عناصر غذایی را در ناحیه اطراف ریشه کنترل نمایند (یاهو و همکاران، ۲۰۱۲).

پتاسیم به‌عنوان یک عنصر غذایی غنی در نواحی وسیعی از کشور نقش به‌سزایی داشته است و در حقیقت مصرف کود پتاسیم از طریق روش‌های مناسب توزیع، بازده مصرف آن را بهبود خواهد بخشید. توزیع پتاسیم در خاک از طریق آب در زمان حداکثر شدت جذب مواد غذایی توسط گیاهان، حتی اگر مقدار کافی از آن در خاک باقی باشد ضروری است (بار و سقیف، ۱۹۸۵). در مورد حرکت پتاسیم در خاک، پژوهش‌های مختلفی صورت گرفته و نتیجه مطالعات بیانگر آن است که مطالعات مبتنی بر مدل‌سازی حرکت این عنصر در خاک نتایج قابل اطمینانی می‌دهد (تارکالسون و همکاران، ۲۰۰۹؛ بین و همکاران، ۲۰۱۱).

سلیم و همکاران (۲۰۰۹) پژوهشی را با کاشت سیب‌زمینی و با اعمال روش‌های مختلف آبیاری انجام داده و به این نتیجه رسیدند که توزیع مواد مغذی گیاه به روش آبیاری قطره‌ای مطابق با نیازهای زمانی گیاه به مواد مغذی از جمله پتاسیم بوده و نسبت به روش‌های دیگر آبیاری از بازده بالایی برخوردار است و میزان آب‌شویی را به پایین‌ترین حد کاهش می‌دهد. گزارش ناشی از مطالعه آبیاری

قطره‌ای با کاشت گیاه آفتاب‌گردان بیانگر آن است که در آبیاری قطره‌ای حرکت افقی و عمودی املاح مغذی از جمله پتاسیم با شدت توسعه ریشه‌دوانی گیاه مطابقت دارد (سیزن و همکاران، ۲۰۱۱). نتیجه پژوهشی که برای تعیین تأثیر پتاسیم و مقدار آب به روش آبیاری قطره‌ای در کمیت و کیفیت انگور انجام شده، نشان داده است که توزیع پتاسیم با سیستم آبیاری قطره‌ای اثر قابل‌توجهی در افزایش کمیت و کیفیت میوه انگور دارد (تقی‌پور و نادری، ۲۰۰۵). تثبیت شدن عناصر غذایی در سیستم کود آبیاری در ناحیه ریشه گیاه در طول دوره رشد گیاه سریع‌تر صورت می‌گیرد (وانگ و همکاران، ۲۰۰۷). پژوهشگران بسیاری برتری‌های توزیع نیتروژن و پتاسیم از طریق آبیاری قطره‌ای در گیاهان مختلف را گزارش نموده‌اند (یاهو و همکاران، ۲۰۱۰؛ صلاح و همکاران، ۲۰۱۰؛ مینگ و همکاران، ۲۰۰۹؛ داقلن و همکاران، ۲۰۰۹).

تولید سبزیجات با به‌کارگیری سیستم‌های آبیاری قطره‌ای منجر به بالا رفتن بازده مصرف آب و کاهش انتقال املاح به لایه‌های زیرین خاک می‌شود (دانال و همکاران، ۲۰۱۲؛ وتون و همکاران، ۲۰۰۸؛ لنارتز و همکاران، ۲۰۰۸؛ بوسچر و همکاران، ۲۰۰۶). مدیریت آب در مزرعه با سیستم آبیاری قطره‌ای نسبت به دیگر روش‌های آبیاری به‌ویژه با کاشت و تولید سبزیجات آسان‌تر بهینه‌سازی می‌شود (هولتوسن و همکاران، ۲۰۱۲؛ رودریگوز-سینوباس و همکاران، ۲۰۱۲). در بین سبزیجات، ترب یک محصول متداول بوده و در تمام نقاط کشور از جمله دشت و مناطق مرتفع رشد می‌کند. این محصول شامل مقادیر زیادی از ویتامین‌های A، B و C و مواد معدنی می‌باشد. بسیاری از سبزیجات از جهت مدیریت آب و مواد معدنی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. ولی ترب از نظر حرکت آب و مواد معدنی در ناحیه ریشه در اثر کود آبیاری مورد مطالعه قرار نگرفته است. گزارش پژوهشگران نشان می‌دهد که در تولید گیاه ترب با آبیاری قطره‌ای افزایش چشم‌گیری در کمیت محصول صورت گرفته است (وان و کانگ، ۲۰۰۶؛ کانگ و وان، ۲۰۰۵). هدف از این پژوهش بررسی حرکت پتاسیم در خاک با روش‌های مختلف آبیاری و مشخص کردن بازده مصرف آب و پتاسیم در سیستم کود آبیاری، آبیاری قطره‌ای و آبیاری فارو می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

این پژوهش در مرکز آموزش کشاورزی واقع در جاده شاهرود- بسطام در سال ۱۳۸۸ انجام گرفت. این منطقه دارای اقلیم نیمه‌خشک با متوسط بارندگی سالیانه ۱۶۲/۵ میلی‌متر می‌باشد. متوسط

درجه حرارت سالیانه آن ۱۴/۴، حداقل درجه حرارت ۱۴- و حداکثر آن ۴۲ درجه سانتی گراد می باشد که دارای تابستان های به نسبت گرم و زمستان های سرد است. برای انجام این پژوهش با کاشت گیاه ترب یک سیستم کامل کود آبیاری، آبیاری قطره ای و آبیاری فارو در مزرعه مرکز بالا پیاده گردید.

**طرح آماری:** طرح آزمایشی به کار رفته در این پژوهش طرح کاملاً تصادفی با ۳ تیمار بوده که هر کدام از آن ها دارای ۴ تکرار بود. تیمارهای در نظر گرفته شده در پژوهش به شرح زیر می باشند.

۱- توزیع کود پتاسیم با سیستم کود آبیاری با آبیاری قطره ای در ۳ نوبت زمانی ۷، ۱۹ و ۳۱ روز پس از کاشت (DF)<sup>۱</sup>

۲- پخش دستی کود پتاسیم در هنگام کاشت با آبیاری قطره ای (DI)<sup>۲</sup>

۳- پخش دستی کود پتاسیم در هنگام کاشت با آبیاری فارو (FI)<sup>۳</sup>

**آزمایش های مزرعه:** برای تأمین نیازهای غذایی گیاه، نیتروژن در فرم اوره و فسفر در فرم اسید فسفریک در تمامی تیمارها پخش گردید. آزمایش های مزرعه ای شامل تخمین ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک، برنامه ریزی آبیاری، برنامه توزیع و پخش کود در تیمارها، تهیه نقشه سیستم های آبیاری قطره ای و فارو و اندازه گیری های ضروری دیگر بودند.

**خصوصیات خاک:** خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل مورد آزمایش شامل بافت خاک به روش هیدرومتری (بویوکس، ۱۹۶۲)، ظرفیت مزرعه توسط دستگاه صفحه فشار<sup>۴</sup> و نقطه پژمردگی دایم به وسیله دستگاه غشای فشار<sup>۵</sup> (تاپ و زیچاک، ۱۹۷۹) تعیین شد. همچنین هدایت الکتریکی به وسیله هدایت سنج (پیچ و همکاران، ۱۹۸۲)، جرم مخصوص ظاهری خاک به روش استوانه ای (بلک و هورتج، ۱۹۸۶)، کربن آلی به روش والکلای بلاک (نلسون و سامرز، ۱۹۸۲)، pH به روش عصاره گل اشباع (پیچ و همکاران، ۱۹۸۲)، درصد نیتروژن کل به روش کجالدال توسط دستگاه اتوآنالیزر (بارتلز و بیگام، ۱۹۹۶)، فسفر به روش کالری متری توسط اسپکتوفوتومتر (بارتلز و بیگام، ۱۹۹۶) و غلظت پتاسیم به وسیله دستگاه شعله سنج (پیچ و همکاران، ۱۹۹۲) اندازه گیری شد.

**گیاه و عملیات کاشت آن:** گیاه انتخاب شده در مزرعه مورد آزمایش به فاصله ۴۵×۱۵ سانتی متر کاشته شد. مقدار کود مورد نیاز این گیاه براساس پژوهش های تنبورج و سینک (۲۰۰۰) به مقدار ۱۲۰

- 1- Drip Fertigation
- 2- Drip Irrigation
- 3- Furrow Irrigation
- 4- Pressure Plate
- 5- Pressure Membrane

کیلوگرم در هکتار ازت، ۷۵ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم تعیین گردید. همه مراحل رشد این گیاه به صورت کنترل شده پیش رفت. در این مزرعه از ۳ سال پیش گیاهی کاشته نشده بود. اندازه کرت‌های آزمایشی در تیمارهای ۱ و ۲،  $۳ \times ۱/۸$  متر و یک فضای خالی ۱ متری بین کرت‌ها فاصله بود. در مورد تیمار سوم ۴ فارو به طول ۱۲ متر طراحی گردید و بنابراین اندازه مساحت هر تیمار  $۲۱/۶$  مترمربع تعیین شد. هر تیمار دارای ۴ تکرار بود.

**برنامه آبیاری:** برنامه آبیاری براساس نیاز آبی گیاه تنظیم گردید در این مورد از روش تشتک تبخیر با در نظر گرفتن ضرایب مربوطه و داده‌های ۵ سال گذشته برای فصل زراعی انتخاب شده استفاده شد. ضرایب مربوط به تشتک تبخیر گیاه از راه‌های استاندارد برآورد گردید و براساس آن‌ها مقدار آب مورد نیاز گیاه تعیین شده و بنابراین در تیمارهای DF و DI آب به صورت قطره‌ای توسط قطره‌چکان‌ها در اختیار گیاه قرار گرفت و با در نظر گرفتن آب مورد نیاز روزانه گیاه دور آبیاری، یک روز در میان بود. مقدار آب به کار رفته در تیمارهای مختلف در هر آبیاری در این دو تیمار (۱ و ۲)  $۳/۳$  مترمکعب بود که هر ۴ تکرار تیمارها هم‌زمان آبیاری می‌شد. در تیمار FI (آبیاری فارو) ۴ تانسیموتر در عمق ۱۵ سانتی‌متری به فاصله ۳ متر در هر فارو نصب گردید در این روش نیز یک روز در میان آبیاری صورت گرفت تا میزان رطوبت را در حد ظرفیت مزرعه نگه دارد و کل آب به کار رفته در این تیمار  $۶/۷$  مترمکعب بوده است.

**سیستم کود آبیاری و پخش کود:** برای تأمین مواد غذایی مورد نیاز گیاه (نیتروژن، فسفر و پتاسیم) به ترتیب از کودهای اوره، اسید فسفریک و کلرید پتاسیم استفاده گردید. در تیمارهای ۲ و ۳ کل مقدار فسفر و پتاسیم در زمان کاشت محصول به صورت دستی توزیع شد به علاوه در این تیمارها نیتروژن در دو مرحله به صورت ۵۰ درصد در زمان کاشت و ۵۰ درصد در زمان جوانه زدن اضافه گردید. در مورد تیمار ۱ این سه کود از طریق سیستم کود آبیاری در ۳ نوبت زمانی به ترتیب ۷، ۱۹ و ۳۱ روز پس از کاشت پخش شد.

**اندازه‌گیری‌ها و تجزیه داده‌ها:** برای پژوهش حرکت افقی و عمودی پتاسیم در خاک در تیمارهای ۲ و ۳ نمونه‌های خاک از عمق‌های ۰-۵، ۵-۱۰، ۱۰-۲۰، ۲۰-۳۰ و ۳۰-۴۰ سانتی‌متری از محل کاشت گیاه و در فاصله‌های ۱۰ و  $۲۲/۵$  سانتی‌متری از گیاه ۷، ۱۹ و ۳۱ روز پس از کاشت و همچنین در زمان برداشت محصول جمع‌آوری گردید. در مورد تیمار DF نمونه‌برداری قبل و بعد از کود آبیاری و در زمان برداشت از محل قطره‌چکان، ۱۰ و  $۲۲/۵$  سانتی‌متری آن و از همان عمق‌ها صورت گرفت.

هدف اصلی این پژوهش مطالعه حرکت پتاسیم در خاک در جهت‌های افقی و عمودی با استفاده از روش‌های مختلف آبیاری بود و بنابراین برای این منظور غلظت پتاسیم در نمونه‌های خاک از طریق دستگاه شعله‌سنجی اندازه‌گیری شد. استخراج و عصاره‌گیری پتاسیم به روش استات آمونیم روی نمونه‌های خشک خاک انجام گرفت. در ضمن نمونه‌هایی از گیاه نیز در زمان برداشت محصول تهیه و مورد تجزیه قرار گرفت و مقدار پتاسیم جذبی گیاه و همچنین بازده مصرف پتاسیم تعیین شد. مقدار عملکرد گیاه نیز در زمان برداشت اندازه‌گیری شد. توزیع حرکت پتاسیم به‌صورت افقی و عمودی در خاک در روش‌های مختلف آبیاری در تیمارهای مختلف ترسیم گردید و مقادیر عملکرد، بازده مصرف پتاسیم و پتاسیم جذبی در تیمارهای مختلف مورد مقایسه قرار گرفت.

### نتایج و بحث

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ آمده است. این جدول نشان می‌دهد که حداکثر مقدار رطوبت در حد ظرفیت مزرعه ۱۹/۲۸ درصد در لایه عمقی دوم خاک می‌باشد. این لایه منطقه فعالیت ریشه گیاه انتخابی بوده و در طول دوره پژوهش، دور آبیاری و آب‌دهی قطره‌چکان‌ها طوری تنظیم شد که رطوبت خاک در محدوده ظرفیت مزرعه کنترل گردیده و تحت هیچ شرایطی به حد نقطه پژمردگی دایم نرسید. از روی جدول بالا می‌توان نتیجه گرفت که متوسط رطوبت حد ظرفیت مزرعه در عمق‌های چهارگانه مورد مطالعه ۱۸/۰۳ درصد می‌باشد. نگه داشتن رطوبت منطقه ریشه گیاه در طول دوره رشد در حد ظرفیت مزرعه در راستای پژوهشی است که (داقلین و همکاران، ۲۰۰۹) انجام داده‌اند.

**توزیع و حرکت پتاسیم:** توزیع مقدار اولیه پتاسیم در خاک، قبل از کاشت برای تیمار ۱ در شکل ۱- الف و در زمان برداشت در شکل ۱- ب نشان داده شده است. همچنین توزیع و حرکت پتاسیم به‌صورت افقی و عمودی در خاک ۷ روز پس از کاشت (اولین کود آبیاری) قبل و بعد از تزریق پتاسیم برای این تیمار در شکل ۱- ج و ۱- د، ۱۹ روز پس از کاشت (دومین کود آبیاری) و ۳۱ روز پس از کاشت (سومین کود آبیاری) در شکل‌های ۲- الف تا ۲- د نشان داده شده است. حرکت این ماده غذایی در خاک در تیمارهای ۲ و ۳ در فاصله‌های زمانی بالا را می‌توان در شکل‌های ۳ و ۴ ملاحظه نمود.

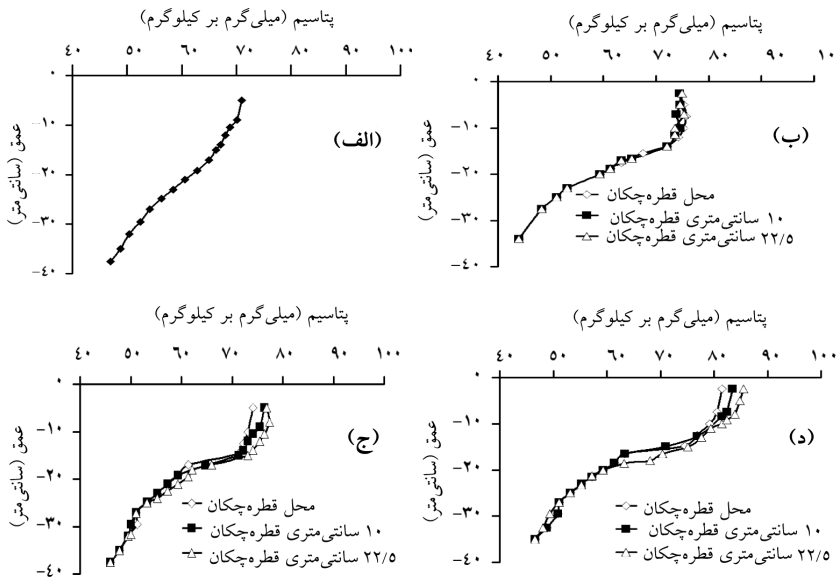
جدول ۱- مشخصات فیزیکی شیمیایی خاک مزرعه مورد آزمایش.

K	P	N	کربن	EC		PWP	FC	جرم مخصوص	عمق
(میلی گرم بر کیلوگرم)			آلی	(دسی زیمنس بر متر)	pH	(درصد)	(درصد)	(گرم بر سانتی متر مکعب)	(سانتی متر)
			(درصد)					بافت	
۷۲/۰	۸/۵	۵۱/۰	۰/۲۵	۰/۱۷	۷/۲۰	۶/۵۳	۱۷/۷۰	۱/۵۷	۰-۱۵
									لومی شنی
۵۱/۱	۴/۹	۳۴/۷	۰/۲۲	۰/۱۳	۷/۲۰	۶/۶۸	۱۹/۲۸	۱/۶۳	۱۵-۳۰
									لومی شنی
۵۱/۳	۱/۸	۳۹/۶	۰/۱۳	۰/۱۱	۷/۲۰	۸/۴۲	۱۷/۴۱	۱/۴۳	۳۰-۴۵
									لومی شنی
۴۶/۳	۱/۷	۳۵/۷	۰/۱۳	۰/۱۱	۷/۲۰	۷/۶۰	۱۷/۷۴	۱/۵۸	۴۵-۶۰
									لومی شنی

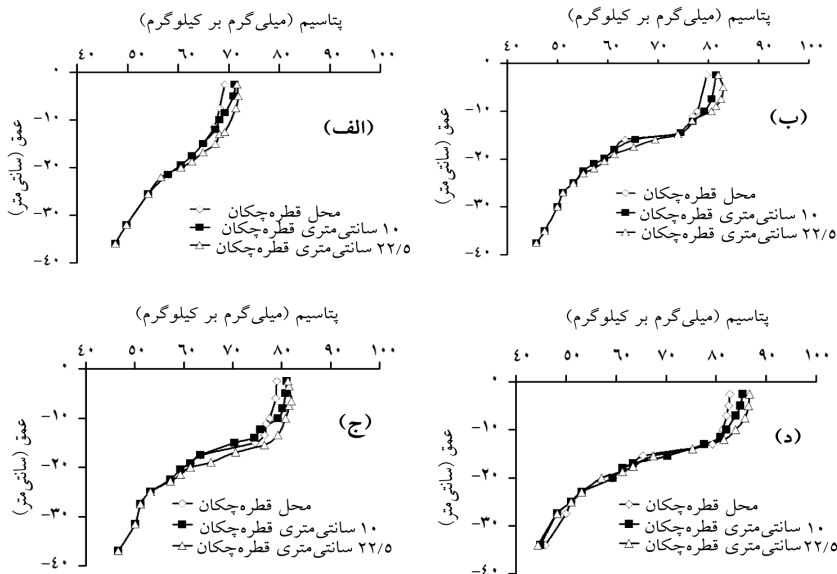
FC: ظرفیت مزرعه و PWP: نقطه پژمردگی دائم.

در تیمار DF توزیع پتاسیم از محل قطره چکان، هم به صورت افقی و هم عمودی تغییر می کند. همان طور که شکل ۱- ج نشان می دهد قبل از اولین توزیع کود در خاک با سیستم کود آبیاری مقدار افقی آن در اطراف قطره چکان تقریباً یکنواخت بوده است و بعد از هر نوبت کود آبیاری رفتار مشابه مشاهده گردید یعنی توزیع افقی پتاسیم ثابت بود.

شکل های ۱ و ۲ نشان می دهند که در حالت کلی مقدار پتاسیم چه قبل و چه بعد از عملیات تزریق کود از طریق آبیاری قطره ای به ازای عمق خاک سیر نزولی داشته است. به طور کلی بیشترین مقدار پتاسیم در لایه های بالایی خاک یعنی عمق ۰-۲۵ سانتی متری مشاهده گردید. بیشترین مقدار غلظت پتاسیم در محل قطره چکان و فاصله های ۱۰ و ۲۲/۵ سانتی متری از قطره چکان در عمق ۰-۱۰ سانتی متری مشاهده شد. همچنین مشاهده می شود که در محل قطره چکان غلظت پتاسیم در لایه بالایی یعنی ۰-۲۵ سانتی متری بیش تر است و در فاصله های ۱۰ و ۲۲/۵ سانتی متری از قطره چکان نیز روند مشابه محل قطره چکان دیده می شود. هر چه از محل قطره چکان به صورت افقی فاصله زیاد می شود اختلاف کمی در منحنی ها مشاهده می گردد که با توجه به روش اندازه گیری در حد خطای روش می باشد. در لایه های پایین یعنی ۴۰-۲۵ سانتی متر مقدار غلظت پتاسیم تقریباً مشابه اندازه اولیه این غلظت قبل از عملیات کاشت است.



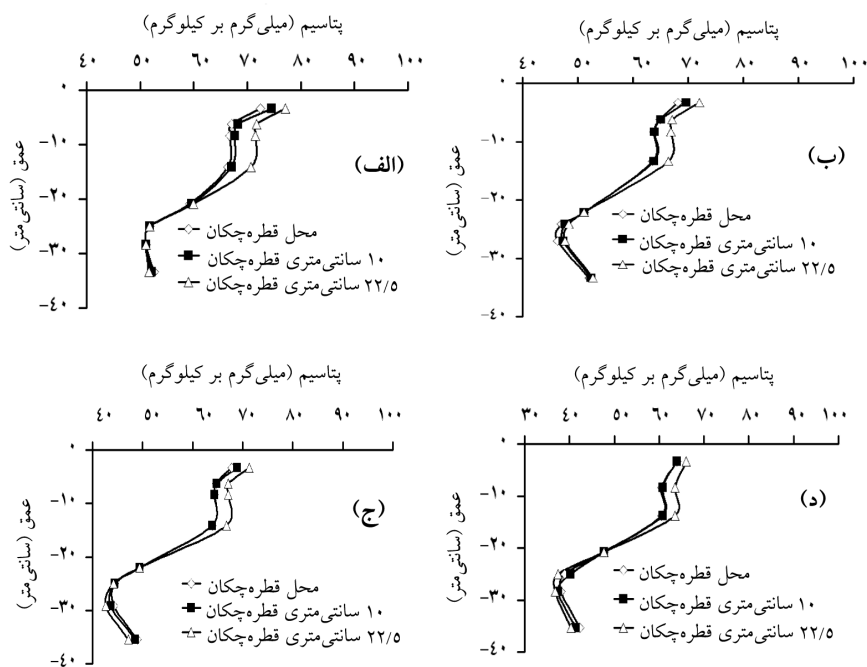
شکل ۱- توزیع پتاسیم در خاک در روش کود آبیاری: الف: قبل از کاشت، ب: زمان برداشت، ج: قبل از اولین کود آبیاری و د: بعد از اولین کود آبیاری.



شکل ۲- توزیع پتاسیم در خاک در روش کود آبیاری: الف: قبل از دومین کود آبیاری، ب: بعد از دومین کود آبیاری، ج: قبل از سومین کود آبیاری و د: بعد از سومین کود آبیاری.

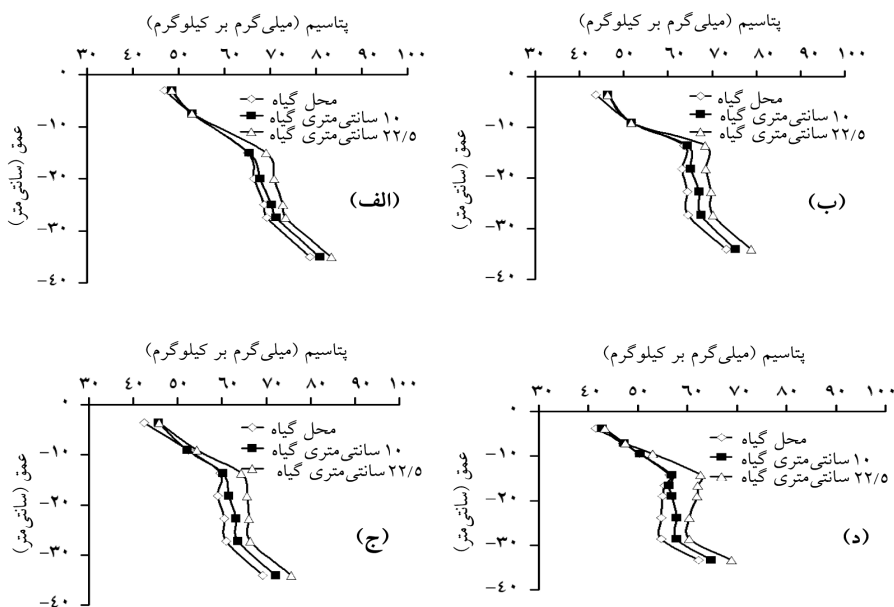


الگوی توزیع پتاسیم در خاک در سیستم آبیاری قطره‌ای (تیمار DI) در مراحل مختلف رشد گیاه در شکل ۳ نشان داده شده است. در این تیمار ۱۰۰ درصد پتاسیم مصرفی طبق برنامه توزیع کود به صورت دستی پخش گردید. نحوه توزیع پتاسیم در این تیمار طوری است که بیشترین مقدار غلظت در لایه‌های ۰-۲۰ و ۴۰-۳۰ سانتی‌متری و کمترین مقدار غلظت در لایه ۲۰-۳۰ سانتی‌متری مشاهده می‌گردد (بدون در نظر گرفتن فاصله افقی از قطره‌چکان) و بنابراین اثر آبیاری قطره‌ای بر روی توزیع دستی کود پتاس طوری است که در اثر عملیات آبیاری، پتاسیم از لایه‌های بالایی حرکت نموده و در لایه پایین‌تر تراکم پیدا می‌کند. هولتوسن و همکاران (۲۰۱۲) حرکت پتاسیم با آبیاری قطره‌ای را بررسی کرده و نتایج مشابهی را گزارش داده‌اند. شکل ۳ نشان می‌دهد که مقدار پتاسیم در محل قطره‌چکان، ۱۰ و ۲۲/۵ سانتی‌متری آن یکسان می‌باشد بنابراین به صورت افقی تغییرات محسوسی در توزیع آن دیده نمی‌شود.



شکل ۳- توزیع پتاسیم در خاک در تیمار آبیاری قطره‌ای: الف: ۷ روز بعد از کاشت، ب: ۱۹ روز بعد از کاشت، ج: ۳۱ روز بعد از کاشت و د: زمان برداشت.

الگوی توزیع پتاسیم در خاک در اثر آبیاری فارو در مراحل مختلف رشد گیاه در شکل ۴ نشان داده شده است. در این تیمار نیز کل پتاسیم در نظر گرفته شده به صورت دستی پخش گردید و برنامه آبیاری طوری بود که میزان رطوبت در حد ۰/۳ بار ننگه داشته شد. در این روش گیاه بر روی پشته‌ها قرار گرفته بود بنابراین نمونه‌های خاک از محل کاشت گیاه، ۱۰ سانتی متری و ۲۲/۵ سانتی متری از عمق‌های ۰-۵، ۱۰-۲۰، ۲۰-۳۰ و ۳۰-۴۰ سانتی متری برای محاسبه میزان پتاسیم در خاک تهیه گردید. نتایج به دست آمده از این تیمار نشان می‌دهد که توزیع پتاسیم طوری است که کم‌ترین مقدار این ماده غذایی در عمق ۰-۲۰ سانتی متری و بیش‌ترین مقدار آن در لایه‌های پایینی (۲۰-۴۰ سانتی متری) تمرکز یافته است. همچنین در لایه بالایی خاک یعنی عمق ۰-۲۰ سانتی متری مقدار پتاسیم در محل نزدیک به گیاه در مقایسه با ۱۰ و ۲۲/۵ سانتی متری از گیاه کم‌تر می‌باشد. شکل ۴ نشان می‌دهد که در لایه ۰-۲۰ سانتی متری عمق خاک مقدار پتاسیم با افزایش عمق افزایش یافته و در لایه ۲۰-۴۰ سانتی متری سیر یکنواختی داشته است. وجود مقدار زیاد پتاسیم در ناحیه خارج از محیط ریشه برای گیاه مفید نبوده و احتمالاً منجر به آب‌شویی زیاد آن در اثر آبیاری سیلابی در فاروها خواهد بود و در نتیجه باعث کاهش عملکرد این تیمار می‌باشد (که این کاهش در تیمار فارو مشاهده می‌گردد).



شکل ۴- توزیع پتاسیم در خاک در تیمار آبیاری فارو: الف: ۷ روز بعد از کاشت، ب: ۱۹ روز بعد از کاشت، ج: ۳۱ روز بعد از کاشت و د: زمان برداشت.

عملکردها و مصرف پتاسیم به وسیله ترب

عملکردها: اثر تیمارهای مختلف از نظر عملکرد، بازده مصرف آب و کود و مقایسه آنها در جدول ۲ آمده است. نتایج مربوط به عملکرد نشان می‌دهد که روش کود آبیاری عملکرد بیش‌تری نسبت به تیمارهای دیگر داشته است جدول ۳ نیز نشان می‌دهد که عملکرد در تیمارهای مختلف معنی‌دار می‌باشد. جدول ۲ نشان می‌دهد که کم‌ترین عملکرد در مقایسه با روش‌های دیگر مربوط به سیستم آبیاری فارو بوده است همچنین روش آبیاری قطره‌ای با توزیع دستی کود (تیمار DI)، ۸ درصد افزایش عملکرد نسبت به آبیاری فارو داشته و در حالت کلی مقایسه میانگین تیمارها نشان می‌دهد که از نظر عملکرد تیمارها به صورت زیر هستند:  $DF > DI > FI$

جدول ۲- عملکرد، بازده مصرف آب و راندمان جذب پتاسیم در تیمارهای مختلف.

تیمار	عملکرد (کیلوگرم بر هکتار)	مقدار آب مصرفی (میلی‌متر)	بازده مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب)	پتاسیم مصرفی (کیلوگرم بر هکتار)	پتاسیم جذب شده (کیلوگرم بر هکتار)	راندمان جذب پتاسیم (درصد)
کود آبیاری	۱۵۲۰۰	۲۰۵	۷/۴۱۵	۱۰۰	۶۴	۶۴
آبیاری قطره‌ای	۱۱۲۰۰	۲۰۵	۵/۴۶۳	۱۰۰	۳۷/۵	۳۷/۵
آبیاری فارو	۱۰۳۰۰	۳۱۰	۳/۳۲۳	۱۰۰	۳۲	۳۲

جدول ۳- تجزیه واریانس مربوط به عملکرد و پتاسیم جذب شده در تیمارهای مختلف.

منبع تغییر	مجموع مربعات	درجه آزادی	واریانس	F محاسبه شده		F جدول
				۱ درصد	۵ درصد	
تیمار	۳/۴	۲	۱/۷	۲۴/۲۸**	۸/۰۲	۴/۲۶
اشتباه	۰/۶۳۷	۹	۰/۰۶			
کل	۴/۰۳۷	۱۱				

مقایسه میانگین تیمارها با آزمون LSD (عملکرد)

تیمار	میانگین	$\bar{d}$
FI	۲۵۷۵	۰
DF	۳۸۰۰	-۱۲۲۵**
DI	۲۸۰۰	-۲۲۵**

ادامه جدول ۳- تجزیه واریانس مربوط به عملکرد و پتاسیم جذب شده در تیمارهای مختلف.

F جدول		پتاسیم جذب شده				
منبع تغییر	مجموع مربعات	درجه آزادی	واریانس	F محاسبه شده	F جدول	
					۱ درصد	۵ درصد
تیمار	۱۴۶/۳۸	۲	۷۳/۱۹	۲۹/۰۴**	۸/۰۲	۴/۲۶
اشتباه	۲۲/۶۹	۹	۵/۵۲			
کل	۱۶۹/۰۷	۱۱				

مقایسه میانگین تیمارها با آزمون LSD (پتاسیم جذب شده)		
تیمار	میانگین	$\bar{d}$
FI	۸	۰
DF	۱۶	-۸**
DI	۹/۳۷	-۱/۳۷ <sup>ns</sup>

\*\* معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد.

همانطور که نتایج عملکرد نشان می‌دهد تیمار DF مناسب‌ترین روش توزیع آب و مواد غذایی برای گیاه مورد نظر در مقایسه با آبیاری قطره‌ای با توزیع دستی کود و آبیاری فارو با توزیع دستی است. بنابراین پاسخ عملکرد به سیستم کود آبیاری مثبت ارزیابی می‌گردد. ذکر این نکته ضروری است که در این پژوهش فقط اثر پتاسیم مورد بررسی قرار گرفته است.

**پتاسیم جذبی گیاه ترب:** پتاسیم جذبی گیاه بر حسب کیلوگرم بر هکتار در تیمارهای مختلف در زمان برداشت محاسبه گردیده و در جدول ۲ آمده است. مقایسه میانگین‌ها (جدول ۳) نشان می‌دهد ترتیب قرار گرفتن تیمارها از نظر پتاسیم جذبی گیاه نیز مشابه ترتیب قرارگیری آن‌ها از نظر عملکرد می‌باشد (DF>DI>FI). همان‌طور که جدول ۲ نشان می‌دهد بیش‌ترین مقدار جذب مربوط به روش کود آبیاری و کم‌ترین مقدار جذب پتاسیم مربوط به روش فارو می‌باشد. یکی از علت‌های تفاوت در پتاسیم جذبی بین روش کود آبیاری و روش فارو می‌تواند آب‌شویی باشد چون که مقدار آب‌شویی این ماده غذایی در سیستم فارو می‌تواند بیش‌تر از تیمارهای دیگر باشد. این موضوع را می‌توان به این صورت تفسیر کرد که هرچه آب به‌کار رفته در محیط فعالیت گیاه بیش‌تر باشد شستشوی املاح زیادتر شده و دسترسی گیاه به مواد غذایی را مشکل‌تر می‌سازد. در این خصوص تفاوت بین روش کود

آبیاری و آبیاری قطره‌ای را می‌توان چنین بیان نمود که در روش کود آبیاری پتاسیم، کاملاً محلول بوده و امکان جذب آن برای گیاه بیش‌تر از روش آبیاری قطره‌ای با توزیع دستی پتاسیم است. بالا بودن راندمان جذب پتاسیم نیز دلیل دیگری بر این موضوع می‌باشد. سیستم آبیاری قطره‌ای با توزیع دستی کود نیز در مرحله دوم قرار دارد و به‌نسبت پتاسیم جذبی کم‌تری را نشان می‌دهد. یکی دیگر از عوامل تأثیرگذار در بالا بودن جذب پتاسیم سیستم کود آبیاری انتخاب ۳ مقطع زمانی مناسب برای تزریق کود با سیستم آبیاری قطره‌ای می‌باشد.

**راندمان جذب پتاسیم:** راندمان جذب پتاسیم و درصد پتاسیم جذبی گیاه در تیمارهای مختلف در جدول ۲ آمده است. حداکثر مقدار بازده مصرف پتاسیم مربوط به سیستم کود آبیاری، متوسط مقدار آن مربوط به آبیاری قطره‌ای با توزیع دستی مواد غذایی و کم‌ترین مقدار آن مربوط به فارو می‌باشد و بنابراین راندمان جذب پتاسیم نیز مانند عملکرد و پتاسیم جذبی همان رفتار  $DF > DI > FI$  را نشان می‌دهد. این نتیجه به‌دست آمده به‌طور دقیق مشابه بازده مصرف پتاسیم در مورد گیاه ترب که توسط وان و کانگ (۲۰۰۶) مطالعه و گزارش شده می‌باشد.

بحث نهایی در مورد این پژوهش این است که جدول ۳ نشان می‌دهد حرکت عمقی پتاسیم در خاک و توزیع آن در ناحیه ریشه در تیمارهای مختلف معنی‌دار است. نتایج به‌دست آمده از مرحله توزیع و حرکت پتاسیم نشان می‌دهد که الگوی توزیع پتاسیم در تیمار ۱ بعد از عملیات کوددهی نسبت به عمق خاک روند کاهشی دارد، یعنی این عنصر غذایی مورد نیاز گیاه به‌طور عمده در لایه‌های بالای خاک و در نزدیک به ناحیه ریشه تجمع نموده و به کندی به‌سمت پایین حرکت می‌کند. این موضوع زمانی صحت پیدا می‌کند که توزیع پتاسیم در خاک به صحیح‌ترین روش صورت گیرد. حرکت نکردن ماده غذایی به لایه‌های پایین یعنی تجمع در ناحیه ریشه و کاهش آب‌شویی از خاک که در سیستم کود آبیاری مشاهده می‌شود. در مطالعات مربوط به حرکت مواد غذایی در خاک نکته دارای اهمیت دیگر این است که زمان توزیع عنصر غذایی مطابق با زمان نیاز گیاه به آن عنصر باشد. در این طرح زمان توزیع پتاسیم ۷، ۱۹ و ۳۱ روز پس از کاشت بوده است، همان‌طور که شکل‌های ۱ و ۲ نشان می‌دهند انتخاب این زمان‌ها طوری است که تجمع این ماده غذایی را در عمق‌های اولیه خاک (عمق ۲۵-۰ سانتی‌متری) شاهد هستیم و این یعنی بالا بردن راندمان جذب پتاسیم توسط گیاه و به حداقل رساندن میزان آب‌شویی آن که این موضوع نشان می‌دهد انتخاب زمان توزیع و فاصله‌های آن‌ها

مناسب بوده است. در شکل‌های ۱، ۲ و ۳ شاهد توزیع یکنواخت پتاسیم به صورت افقی تا فاصله ۲۲/۵ سانتی‌متری از قطره‌چکان و گیاه هستیم. این موضوع بیانگر یکنواخت عمل نمودن سیستم کود آبیاری و قطره‌ای و توزیع یکسان مواد غذایی در سطح خاک و لایه‌های پایین می‌باشد. منظور از یکسان بودن توزیع این است که از همه قطره‌چکان‌ها یک اندازه مواد محلول خارج شده و در سطح خاک پخش شده و از روی شکل‌ها مشاهده می‌شود که به صورت افقی پتاسیم یکسان توزیع گردیده و نزدیک بودن ۳ منحنی مربوط به محل قطره‌چکان، ۱۰ و ۲۲/۵ سانتی‌متری از آن نشان‌دهنده این است که از تمام قسمت‌های سطح زمین یک اندازه پتاسیم به عمق‌های پایین حرکت کرده است. اما در شکل ۴ که مربوط به آبیاری فارو می‌باشد تجمع این عنصر غذایی در لایه‌های پایینی خاک (عمق ۴۰-۲۵ سانتی‌متری) دیده می‌شود. این موضوع نشان می‌دهد که پتاسیم به راحتی آب‌شویی شده و از دسترس گیاه خارج شده است که یکی از اثرات آن کاهش عملکرد در این تیمار می‌باشد.

### نتیجه‌گیری

همان‌طور که شکل‌های ۱ تا ۴ مربوط به این پژوهش و جدول ۳ نشان داد توزیع پتاسیم در مراحل مختلف زمانی (۷، ۱۹ و ۳۱ روز پس از کاشت) از طریق تزریق این کود با روش کود آبیاری نشان‌دهنده تجمع پتاسیم در ناحیه اطراف ریشه (عمق ۱۵-۵ سانتی‌متری) بوده و تفاوت آن با روش‌های دیگر از نظر توزیع و حرکت پتاسیم، عملکرد و پتاسیم جذبی معنی‌دار می‌باشد بنابراین در این پژوهش این سیستم بهترین روش توزیع آب و مواد غذایی تشخیص داده شد. همچنین کاهش روند انتقال پتاسیم از لایه‌های بالا به لایه‌های پایین نشان‌دهنده کنترل و کاهش آب‌شویی این ماده غذایی از ناحیه فعالیت ریشه در مراحل مختلف رشد و در زمان برداشت محصول می‌باشد. تجربه‌های عملی روی این طرح نیز نشان داد که روش بالا مقرون به صرفه بوده و عملیات اجرایی آن (تزریق مواد غذایی به داخل لوله‌های آبیاری قطره‌ای) ساده‌تر می‌باشد. بنابراین در مجموع و با اطلاعات به دست آمده از این پژوهش می‌توان گفت که در شرایط مشابه، روش بالا (کود آبیاری) می‌تواند به عنوان بهترین سیستم توصیه گردد. لازم به ذکر است نتیجه بالا مربوط به یک خاک در محل مورد آزمایش (بافت لومی شنی) بوده و برای تکمیل اطلاعات، انجام پژوهش‌های بیش‌تری در این زمینه ضروری است.

## منابع

1. Aujla, M.S., Thind, H.S., and Buttar, G.S. 2005. Cotton yield and water use efficiency at various levels of water and N through drip irrigation under two methods of planting. *Agric. Water Manage.* 71: 167-179.
2. Bar, Y., and Sagiv, B. 1985. Potassium supply to the field crops grown under drip irrigation and fertigation. P 185-188, In: Proceedings of K symposium, International Potash Research Institute, Praetorian.
3. Bartels, J.M., and Bigham, J.M. 1996. Method of soil analysis. Part 3. Chemical methods. SSSA. Madison, WI. USA, Pp: 1-1390.
4. Blake, G.R., and Hartge, K.H. 1986. Bulk density. In Met, 2nd edn. Ed. A. Klute, American Society of Agronomy, Madison, Pp: 363-375.
5. Bouyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agron. J.* 54: 464-465.
6. Busscher, W.J., Bauer, P.J., and Camp, C.R. 2006. Cotton management in a compacted subsurface micro irrigated coastal plain soil of the Southeastern US. *Soil and Tillage Research*, 91: 1-2. 157-163.
7. Dagdelen, N., Basal, H., Yilmaz, E., Gurbuz, T., and Akcay, S. 2009. Different drip irrigation regimes affect cotton yield, water use efficiency and fiber quality in western Turkey. *Agric. Water Manage.* 96: 111-120.
8. Dan, L., Xiuzhi, C., Zhiping, P., Shuisen, C., Weiqi, C., Liusheng, H., and Yongjie, L. 2012. Prediction of soil organic matter content in a litchi orchard of south china using spectral indices. *Soil and Tillage Research*, 123: 78-86.
9. Holthsen, D., Reeb, D., and Horn, R. 2012. Influence of potassium fertilization, water and salt stress, and their interference on rheological soil parameters in planted containers. *Soil and Tillage Research*, 125: 72-79.
10. Kang, Y.H., and Wan, S.Q. 2005. Effect of soil water potential on radish (*Raphanus sativus* L.) growth and water use under drip irrigation. *Sci. Hortic.* 106: 275-292.
11. Kesi, L., and Pawel, W. 2012. Corn production response to tillage and nitrogen application in dry-land environment. *Soil and Tillage Research*, 124: 138-143.
12. Lennartz, B., Jarvis, N., and Stagnitti, F. 2008. Effects of Heterogeneous Flow on Discharge Generation and Solute Transport. *Soil Sci.* 173: 5. 306-320.
13. Ming, C., Yaohu, K., Shuqin, W., and Shi-Ping, L. 2009. Drip irrigation with saline water for oleic sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Agric. Water Manage.* 96: 12. 1766-1772.
14. Nelson, D.W., and Sommers, L.E. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. P 539-579, In: A.L. Page (ed.) *Methods of Soil Analysis*. 2<sup>nd</sup> edition. 2nd ed. American Society of Agronomy, Madison, WI, USA.
15. Page, A.L., and Moller Keeny, R.H. 1982. Method of soil analysis. Part 1 and 2, American Society of Agronomy. Madison, WI, USA. Pp: 167-179.

16. Page, A.L., Miller, R.H., and Jeeney, D.R. 1992. Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Mineralogical Properties. SSSA Pub., Madison, 1159p.
17. Rodriguez-Sinobas, L., Gil, M., Sanchez, R., and Benitez, J. 2012. Evaluation of drip and subsurface drip irrigation in a uniform loamy soil. *Soil Science*, 177: 2. 147-152.
18. Salah, E.E.H., and Urs, S. 2010. Optimal coupling combinations between irrigation frequency and rate for drip-irrigated maize grown on sandy soil. *Agric. Water Manage.* 97: 3. 439-448.
19. Selim, E.M., Mosa, A.A., and El-Ghamry, A.M. 2009. Evaluation of humic substances fertigation through surface and subsurface drip irrigation systems on potato grown under Egyptian sandy soil conditions. *Agric. Water Manage.* 96: 1218-1222.
20. Sezen, S.M., Yazar, A., Kapur, B., and Tekin, S. 2011. comparison of drip and sprinkler irrigation strategies on sunflower seed and oil yield and quality under Mediterranean climate conditions. *Agric. Water Manage.* 98: 1153-1161.
21. Shuqin, W., Yanping, J., Yaohu, K., Wei, H., Shufang, J., Junli, T., and Wei, L. 2012. Drip irrigation of waxy corn (*Zea mays* L. var. *ceratina* Kulesh) for production in highly saline conditions. *Agric. Water Manage.* 104: 210-220.
22. Singh, D.K., Rajput, T.B.S., Singh, D.K., Sikarwar, H.S., Sahoo, R.N., and Ahmad, T. 2006. Simulation of soil wetting pattern with subsurface drip irrigation from line source. *Agric. Water Manage.* 83: 130-134.
23. Tagipure, F., and Naderi, N. 2005. Estimation of potassium effect and irrigation water with drip irrigation in quantity and quality of grape fruit. P 171-180, In: proceeding of Fourth Horticulture Science Conference. Mashhad, Iran.
24. Tarkalson, D.D., Van, D.S.J., and Petersen, J.L. 2009. Effect of Nitrogen Application Timing on Corn Production Using Subsurface Drip Irrigation. *Soil Science*, 174: 3. 174-179.
25. Thamburaj, S., and Singh, N. 2000. Vegetables, Tubercrops and Spices. Indian Council of Agricultural Research, New Delhi, India, 469p.
26. Topp, G.C., and Zebchuk, W. 1979. The determination of soil water desorption curves for soil cores. *Can. J. Soil Sci.* 59: 19-26.
27. Vogler, I., Rogasik, J., Funder, U., Panten, K., and Schnug, E. 2009. Effect of tillage systems and p-fertilization on soil physical and chemical properties, crop yield and nutrient uptake. *Soil and Tillage Research*, 103: 137-143.
28. Wan, S.Q., and Kang, Y.H. 2006. Effect of drip irrigation frequency on radish (*Orphans sativus* L.) growth and water use. *Irrig. Sci.* 24: 161-174.
29. Wang, F.X., Kang, Y., Liu, S.P., and Hou, X.Y. 2007. Effects of soil matric potential on potato growth under drip irrigation in the North China plain. *Agric. Water Manage.* 88: 34-42.



30. Wheaton, A.D., Mc Kenzie, B.M., and Tisdall, J.M. 2008. Management to increase the depth of soft soil improves soil conditions and grapevine performance in an irrigated vineyard. *Soil and Tillage Research*, 98: 1. 68-80.
31. Yaohu, K., Ming, C., and Shuqin, W. 2010. Effects of drip irrigation with saline water on waxy maize (*Zea mays* L. var. *ceratina* Kulesh) in North China Plain. *Agric. Water Manage.* 97: 9. 1303-1309.
32. Yaohu, K., Ruoshui, W., Shuqin, W., Wei, H., Shufang, J., and Shiping, L. 2012. Effects of different water levels on cotton growth and water use through drip irrigation in an arid region with saline ground water of Northwest China. *Agric. Water Manage.* 109: 117-126.
33. Yin, X., Seavert, C.F., and Roux, J. 2011. Responses of irrigation water use and productivity of sweet cherry to single-lateral drip irrigation and ground covers. *Soil Sci.* 176: 1. 39-47.
34. Zare-Abianeh, H., Farrukhi, E., Vazifeh-Dost, M., and Azhdary, K. 2010. Estimation of moisture distribution pattern under drip irrigation in onion field. *J. Water and Soil.* 24: 6. 1197-1209.



## **Potassium movement in soil as influenced by different methods of irrigation and fertilizer application**

**\*Kh. Ajdary**

Assistant Prof., Dept. of Soil and Water, Shahrood University of Technology  
Received: 06/15/2012; Accepted: 01/30/2013

### **Abstract**

Distribution of the fertilizer with correct method is the important step for achieving the sustainable agriculture. This study investigates the potassium movement in soil in fertigation, drip and furrow irrigation systems with transplanting the radish crop in sandy loam soil. In this investigation a complete drip and furrow irrigation system was designed in the Research Field of Shahrood. Applied potassium was 100 kg/ha. Fertilizer was applied by fertigation method in drip fertigation system. Also in drip and furrow irrigation systems it was applied with basal application method. After field and laboratory analyses, results revealed that in case of drip fertigation, potassium was confined mostly in the upper layers of the soil i.e. at 0-25 cm soil depth and lower concentration of potassium nearly equal to initial concentration was found in the lower layers of the soil i.e. at 25-40 cm soil depth. Another result of study revealed that in drip irrigation, higher concentration of potassium was found in the middle layers of the soil i.e. 20-30 cm depth and lower concentration was observed in the upper and lower layers. In furrow irrigation, major portion of the applied potassium has moved down in the lower layers i.e. beyond 20 cm and has lead to more leaching losses. Further the drip fertigation in three equal splits was the most beneficial treatment for the growth and yield (15200 kg/ha) of Radish, higher water use efficiency (7.4 kg/m<sup>3</sup>) and high potassium use efficiency (64%) in comparison with hand application of fertilizer with furrow irrigation/drip irrigation.

**Keywords:** Fertigation, Drip irrigation, Furrow, Potassium distribution, Potassium movement

---

\* Corresponding Authors; Email: [azhdary2005@yahoo.co.in](mailto:azhdary2005@yahoo.co.in)