Journal of Research in Horticultural Science
پژوهش در علوم باغبانی
Vol. 4, No. 2 Autumn and Winter 2025 (127–138)
جلد ۴، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۴۰۴ (ص ۱۳۸-۱۲۷)
10.22092/rhsj.2026.373219.1151
مقاله علمی پژوهشی
تارنمای مجله: https://rhsj.areeo.ac.ir

# بررسی و ارزیابی روش‌های تزریق مواد شیمیایی در سامانه‌های خردآبیاری در باغ‌های پسته شهرستان دامغان

سیدمحسن طباطبائیان[1]*مهدی محمدی مقدم[1] ناصر صداقتی[2] شمیم سپاسی[3]، مریم افروشه[2]

۱ - مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان (شاهرود)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شاهرود، ایران.

۲- پژوهشکده پسته، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات و آموزش و ترویج کشاورزی، رفسنجان، ایران.

۳- دانش آموخته مقطع دکتری علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی دامغان.

**تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۳/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۴/۱۰**

## چکیده

کودآبیاری اصطلاحی است که برای تعریف عمل استفاده از مواد شیمیایی در تولید یک محصول کشاورزی از طریق سیستم آبیاری به کار برده می‌شود. بررسی از نظر جنبه‌های سخت افزاری و نحوه کاربرد انواع سامانه‌های جانبی استفاده از کودهای محلول در آب و سایر عناصر کم‌مصرف یکی از اهداف اساسی در ارزیابی نهایی عملکرد انواع روش‌های آبیاری خواهد بود. در این پژوهش به بررسی انواع روش‌های کودآبیاری در سامانه‌های آبیاری اجرا شده در باغ‌های پسته شهرستان دامغان پرداخته شد و به صورت خاص سامانه کودآبیاری در ۱۵ باغ مورد ارزیابی قرار گرفت. ارزیابی کیفی اجزای سامانه از نظر نوع طراحی، نحوه به کارگیری، کالیبره کردن، نوع مواد مصرفی، میزان آشنایی و نحوه عملکرد کاربر و میزان دبی تزریق، در قالب طیف کیفی، با معیارهایی از خیلی خوب تا خیلی ضعیف ثبت و ارزیابی گردید. در باغ‌های مورد ارزیابی نه باغ دارای سامانه تزریق فعال (استفاده از پمپ‌های تزریق) و شش باغ روش تزریق غیرفعال دارند. در این باغ‌ها به کارگیری انواع کودها و عناصرکم‌مصرف و یا اصلاح کننده‌های خاک در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای روند مطلوبی دارد. نوع مواد کودی در تمامی سامانه‌های کودآبیاری به خوبی انتخاب شده‌اند. به دلیل عدم طراحی درست میزان دبی تزریق و مدت زمان فرایند کودآبیاری در عمل در خاک‌هایی با بافت سبک انتظار بر این است که بخش زیادی از ترکیبات کودی محلول در آب از دسترس ریشه خارج شوند. براساس نتایج حاصل شده بکارگیری سامانه‌های تزریق کود به شیوه غیرفعال (مخازن تحت فشار)، به دلیل عدم کارائی مطلوب آنها توصیه نمی‌شود.

**واژگان کلیدی:** کودآبیاری، سامانه تزریق، تزریق فعال، تزریق غیرفعال.

# Assessment and Evaluation of Chemical Injection Methods in Micro-Irrigation Systems of Pistachio Orchards in Damghan County, Iran

**Mohsen Tabatabaeian[1]*, Mehdi Mohamadi moghadam[1], Naser Sedaghati[2], Shamim Sepasi[3], Maryam Afrousheh[2]**

1- Semnan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center (Shahroud), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shahroud, Iran.

2- Pistachio Research Institute, Horticultural Sciences Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rafsanjan, Iran.

3- Ph.D. Graduate in Food Science and Engineering, Damghan Branch, Islamic Azad University.

**Received: June 2026 Accepted: July 2026**

## Abstract

Fertigation is the practice of applying agrochemicals through an irrigation system for crop production. Evaluating the hardware components and operational aspects of various auxiliary systems used for the application of water-soluble fertilizers and other micronutrients is one of the primary objectives in the overall performance assessment of different irrigation methods. In the present study, various fertigation methods employed in irrigation systems installed in pistachio orchards of Damghan County were investigated. In particular, the fertigation systems of 15 orchards were evaluated. The qualitative assessment of the system components, including design type, operational procedures, calibration, type of applied materials, operator knowledge and performance, and injection flow rate, was carried out using a qualitative rating scale ranging from very good to very poor. Among the evaluated orchards, nine were equipped with active injection systems (injection pumps), whereas six employed passive injection systems. The application of various fertilizers, micronutrients, and soil amendments through drip irrigation systems was found to be satisfactory in these orchards. Furthermore, the types of fertilizers used in all evaluated fertigation systems were appropriately selected. However, due to the improper design of the injection flow rate and fertigation duration, particularly in light-textured soils, a considerable proportion of the water-soluble fertilizer compounds is expected to move beyond the effective root zone, thereby becoming unavailable to plant roots. Based on the obtained results, the use of passive fertilizer injection systems (pressurized fertilizer tanks) is not recommended because of their unsatisfactory performance and low application efficiency.

**Keywords:** Active injection, Fertigation; Injection system, Passive injection.

*نویسنده مسئول: Mehrad6788@gmail.com

## ۱- مقدمه

محاسبات توزیع انواع مواد شیمیایی غیر واکنش‌پذیر در آب آبیاری و نحوه‌ی به کارگیری هریک از آنها، در موفقیت و بهره‌برداری مطلوب از یک سامانه آبیاری دارای نقش مؤثری است. ویژگی‌های سامانه تزریق، نوع مواد شیمیایی مصرفی، مقدار مصرف، یکنواختی توزیع و پایش اثرات مربوط به فرایند کودآبیاری در حال حاضر یکی از موضوعات مهم در برنامه‌ریزی‌های مدیریتی تولید در بخش کشاورزی است. افزایش هزینه‌ها در واحد سطح مربوط به تهیه عناصر کم‌مصرف و کلات‌های کودی مختلف به منظور تولید کمی و کیفی مطلوب در محصولات زراعی، باغی و گلخانه‌ای از یک سو و سویی دیگر ارزش واقعی منابع انرژی و تولید و توسعه سطح اجرای انواع روش‌های آبیاری اهمیت روش‌های کودآبیاری را بیش از گذشته مطرح نموده است. کاربرد علف‌کش‌ها، حشره‌کش‌ها، قارچ‌کش‌ها، نماتدکش‌ها و تنظیم‌کننده‌های رشد از طریق سیستم‌های آبیاری بارانی و قطره‌ای نیز در زمره تزریق مواد شیمیایی قرار می‌گیرند (Ghidiu, 2012). البته این تنوع به کارگیری در تمام نقاط دنیا و در کلیه اراضی تحت آبیاری وجود ندارد. در سال ۱۴۰۲ براساس دستورات جامع برنامه‌های توسعه‌ای کشور، ۳۶۲۲۹ هکتار از اراضی تحت پوشش سامانه‌های آبیاری قرار گرفته است. در همین سال ۴۹۱۵۲ هکتار سامانه‌ی آبیاری نیز در دست اجرا بوده است (آمارنامه وزارت جهادکشاورزی، ۱۴۰۲). بنابراین ارزیابی و کاربرد مطلوب روش‌های کودآبیاری همگام با توسعه سامانه‌های آبیاری در کشور یکی از مهمترین برنامه‌های فنی و اجرایی خواهد بود. براساس روند کاهشی منابع آب تجدیدپذیر در ایران، هیچ گونه شرایطی برای توسعه افقی سطح اراضی کشاورزی وجود ندارد و صرفاً می‌بایست با ایجاد بستر مناسب به منظور افزایش کمی و کیفی انواع تولیدات کشاورزی بر مبنای الگوهای کشت تعریف شده اقدام نمود. سامانه‌های تزریق مواد شیمیایی در این راه کمک ویژه‌ای در بخش تولید خواهند داشت. کاربرد درست و در نظر گرفتن کلیه ملاحظات فنی در فرایندهای تغذیه‌ای همراه با آب آبیاری نیازمند تلفیق دانش‌های مختلف در زمینه تولید محصولات کشاورزی است. انتخاب نوع روش تزریق بر مبنای امکانات و شرایط منطقه‌ای در کنار شناخت صحیح از انواع مواد شیمیایی با قابلیت کاربرد بر اساس اهداف از پیش تعیین شده، موفقیت یک سامانه کودآبیاری را تضمین خواهد نمود. در بسیاری از موارد اجرایی و به منظور پرهیز از آزمون و خطا و صرف وقت و انرژی لازم است با نگاهی منطبق بر دانش فنی به ارزیابی انواع روش‌ها پرداخت تا بتوان به نتایج لازم در این مسیر رسید. درجه موفقیت یک روش کودآبیاری مستقیماً وابسته به موفقیت اجرای یک سامانه آبیاری است، در شرایط فعلی که خوشبختانه دانش فنی و اجرایی در خصوص انواع سامانه‌های آبیاری به حدمطلوبی رسیده است و دیدگاه بهره‌بردار آب کشاورزی نیز بر بهینه‌سازی مصرف آب به منظور حفظ سرمایه گذاری‌های خود، استوار گشته است در نظر گرفتن تمهیدات لازم در خصوص انجام عملکرد مطلوب انواع کودها و ریزمغذی‌ها همراه با آب آبیاری نقش و اثر سازنده‌ای خواهد داشت.

عملیات کوددهی همراه با اصلاح خاک از فرایندهای مهم در بهره‌برداری از باغ‌های پسته است. توسعه انواع چاله کودهای دامی، پخش و توزیع انواع اصلاح کننده‌های خاک نظیر گچ خام موضوعی است که قدمت چندین ساله در باغ‌های پسته کشور دارد. در منطقه مورد مطالعه نیز فرایند کوددهی زمستانه همراه با اصلاح کننده‌های خاک از سال‌های قبل متداول بوده است. در مناطق شرقی شهرستان دامغان تغییر در شرایط خاک در بسیاری از اراضی پسته‌کاری به سمت اصلاح و بهینه شدن خاک‌ها، در نتیجه‌ی کوددهی‌های زمستانه و گاهاً اصلاح خاک، روند مطلوبی را نشان می‌دهد اما همین میزان عملیات خاک‌ورزی و استفاده از ترکیبات آلی به همراه اصلاح‌کننده‌های معدنی خاک در برخی نقاط دیگر روند مساعدی ندارد. در مناطق شرقی شهرستان که عمدتاً وضعیت کیفی منابع آب آبیاری دارای EC کمتر از سه دسی‌زیمنس بر متر و pH در محدوده‌ی کمی اسیدی تا خنثی می‌باشد. بهبود روند اصلاح خاک و جذب عناصر ماکرو و میکرو در نتیجه فعالیت‌های اجرایی ذکر شده در باغ‌های پسته مؤثر بوده است. اما در سایر مناطق، این روند به شکل مطلوبی حاصل نشده است. بدیهی است اصلاح خاک و بهبود شرایط تغذیه گیاه در چنین شرایطی در گرو به کارگیری اصلاح کننده‌های شیمیایی مناسب همراه با آب آبیاری است. تجربیات میدانی

و تحقیقات انجام شده در زمینه تغذیه باغ‌های پسته و استفاده از انواع کودهای شیمیایی محلول در آب با قابلیت کاهنده بودن میزان قلیائیت خاک‌ها، خود گواهی بر این موضوع است که با به کارگیری مناسب ترکیبات شیمیایی و انواع عناصر کم‌مصرف در عمق کاربری مناسب به صورتی که به آسانی توسط ریشه قابل دستیابی باشد کمک قابل توجهی در زمینه افزایش بهره‌وری و تولید محصول خواهد داشت. در مواردی که فرایند کودآبیاری با سامانه‌ی آبیاری قطره‌ای انجام می‌شود مقدار کود توزیعی، یکنواختی پخش، و عمق کاربرد کود تابعی از وضعیت و نحوه‌ی کارکرد سامانه آبیاری خواهد بود.

سیستم‌های آبیاری قطره‌ای مزایای بیشتری را نسبت به سیستم‌های بارانی در استفاده از مواد مغذی و آفت‌کش‌های سیستمیک در فرایند کودآبیاری ارائه می‌دهند.

از آنجایی که آب به طور مستقیم به ناحیه ریشه گیاه اعمال می‌شود، مواد مغذی را می‌توان به طور مؤثر اعمال کرد. کودآبیاری منظم مخصوصاً در آب و هوای گرم و خشک، کاهش مصرف مواد شیمیایی، مقادیر و تواترهای از پیش تعیین شده و عدم نیاز به تجهیزات و ماشین آلات متحرک در اراضی زراعی و باغی را می‌توان مهمترین مزایای کودآبیاری در روش‌های قطره‌ای دانست (Topper *et al*., 2010). بنابراین ضمن اینکه فشردگی خاک در اثر ترددهای زیاد کاهش می‌یابد، آسیب مکانیکی به محصول نیز کمتر خواهد بود.

سیستم‌های تزریق برای نگهداری هر سامانه‌ی قطره‌ای مورد نیاز است چرا که افزودن اسیدها به سیستم قطره‌ای برای جلوگیری از تجمع جلبک‌ها و رسوب در قطره چکان‌ها و خطوط جانبی یکی از برنامه‌های اصلی نگهداری سامانه‌های آبیاری قطره‌ای است. بنابراین اضافه نمودن سامانه تزریق عملاً برای مدیریت نگهداری هر سامانه آبیاری قطره‌ای به ویژه در مناطق گرم و خشک با وضعیت کیفی نه چندان مطلوب آب آبیاری ضروری می‌باشد (King *et al*., 2009).

بنابراین، توجه به این نکته دارای اهمیت است که کودآبیاری برای همه مواد شیمیایی قابل استفاده نبوده و تجهیزات ایمنی و تکنیک‌های مدیریتی خاص نیاز دارد ( Van der Gulik, 2016). عموماً اگر سیستم‌های آبیاری قطره‌ای به درستی طراحی شده باشند دارای ضریب یکنواختی بیش از ۸۰ درصد می‌باشند بر این اساس سیستم‌های قطره‌ای با راندمان در محدوده ۸۵ تا ۹۰ درصد و ضریب یکنواختی مناسب در کاربرد انواع کودها نسبت به سیستم‌های بارانی بسیار برتر هستند.

در فرایند کودآبیاری، فواصل قطره‌چکان‌ها می‌بایست به نحوی باشد تا به طور مؤثری از حجم ریشه گیاه آبیاری شود. به کارگیری قطره‌چکان مناسب برای هر خاک، نوع محصول و کیفیت آب مورد استفاده بسیار مهم بوده و می‌بایست ویژگی‌های جریان قطره‌چکان و دوام آن برای شرایط کودآبیاری در نظر گرفته شود. بهتر است قطره‌چکان با ضریب تغییرات ساخت کمتر از ۰/۰۵ انتخاب شود. محدوده فشار کاری قطره‌چکان‌ها باید در ۱۰٪ +/- از فشار کاری آنها نگه داشته شود. اگر سیستم قطره‌ای بر روی یک شیب کار می‌کند، باید از قطره‌چکان‌های جبران‌کننده فشار استفاده کرد. سیستم تزریق باید قبل از سیستم فیلتراسیون قرار گیرد تا هرگونه رسوبی که ممکن است ایجاد شود، فرصتی برای فیلتر کردن قبل از ورود به سیستم آبیاری داشته باشد (Ghidiu, 2012).

در نهایت برای اجرای یک برنامه کودآبیاری موفق، دشوارترین مانعی که باید توسط کاربر ماهر برطرف شود، اطمینان از یکنواختی کاربرد خوب سامانه آبیاری است و در این راستا آرایش شبکه سیستم آبیاری و زمان حرکت مواد شیمیایی از طریق سیستم باید به نحوی باشد که اطمینان از یکنواختی کاربرد خوب و زمان شستشوی کافی در پایان عملیات کوددهی حاصل گردد. یکی دیگر از موضوعات مهم در ارتباط با این فرایند این است که خطوط آبیاری باید قبل از شروع کودآبیاری کاملاً پر شده و تحت فشار قرار گیرند. در زمان شستشو، سیستم آبیاری باید به اندازه کافی کار کند تا تمام خطوط از ماده شیمیایی مورد استفاده پاک شود. زمان شستشوی ۳۰ دقیقه‌ای برای اکثر سیستم‌ها کافی است، اگرچه سیستم‌هایی با خطوط اصلی طولانی و بزرگ ممکن است به مدت زمان بیشتری برای شستشو نیاز داشته باشند. در کارهای دقیق‌تر برای تعیین مدت زمان لازم برای خروج آخرین ماده شیمیایی از قطره‌چکان‌ها، یک آزمایش رنگ انجام می‌شود. با این شیوه مقدار زمان شستشو را می‌توان با تزریق ماده شیمیایی در منطقه کنترل کاهش داد (Stivers, 2015).

مخلوط کردن یک یا چند ماده کودی به طور جداگانه برای هر شیفت آبیاری، احتمال خطا را در طول فرآیند کاربرد کاهش می‌دهد و امکان شستشوی مناسب سیستم آبیاری را برای افزایش یکنواختی کاربرد فراهم می‌کند. در صورت استفاده از یک کنترل‌گر با قابلیت برنامه‌ریزی تزریق در طول آبیاری‌های برنامه‌ریزی شده، می‌توان یک مخزن بزرگ از مواد شیمیایی را برای همه قطعات آبیاری به کار برد (USDA, 1997).

در این حالت مقدار ماده شیمیایی اعمال شده در هر قطعه آبیاری با تنظیم زمان تزریق کنترل می‌شود. برای جلوگیری از تجمع جلبک‌ها، لجن‌ها یا رسوب‌هایی که ممکن است سیستم‌های آبیاری قطره‌ای را مسدود کنند، لازم است از سیستم تزریق محافظت نمود. غلظت بالای کربنات و یا آهن در برخی از آب‌های آبیاری ممکن است با کودها واکنش داده و باعث ایجاد ترکیبات نامحلول کلسیم یا آهن شود (King *et al*., 2009). برخی از باکتری‌ها همچنین می‌توانند آهن را به عنوان یک محصول جانبی متابولیسم تثبیت کنند و مواد لجنی یا ژله‌ای را در داخل خطوط آبیاری قطره‌ای تولید کنند. رشد جلبک نیز ممکن است با افزودن مواد مغذی موجود در آب افزایش یابد. هنگام انجام کوددهی با سیستم آبیاری قطره‌ای ممکن است به روش‌های نگهداری ویژه‌ای مانند کلرزنی، افزودن جلبک‌کش‌ها، باکتری‌کش‌ها همراه با آب آبیاری نیاز باشد.

pH خاک به ویژه در هنگام استفاده از کودهای آمونیومی از طریق سیستم آبیاری قطره‌ای باید کنترل شود. pH به ظرفیت بافری خاک بستگی دارد. انتخاب یک نمونه کود مناسب این مشکلات را تعدیل خواهد کرد (Topper *et al*., 2019).

## ۲- مواد و روش‌ها

این پژوهش در دو مرحله انجام گرفته است. در بخش نخست به دلیل عدم وجود اطلاعات کافی، با انجام بازدیدهای میدانی از باغ‌های پسته مجهز به سامانه کودآبیاری، نسبت به تنظیم فرم‌های اولیه اقدام گردید. مهمترین موارد ثبت شده در این مرحله نصب یا عدم نصب سامانه کودآبیاری، بهره‌برداری یا عدم بهره‌برداری از آن، نوع سامانه کودآبیاری، نوع مواد کودی مصرفی، رضایت بهره‌بردار و کیفیت ظاهری نصب اجزا بود. این قسمت از کار به منظور تحلیل سیمای اولیه کودآبیاری در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای در باغ‌های پسته شهرستان دامغان انجام گرفته است.

در مرحله دوم و به منظور تحلیل محاسبات طراحی با انتخاب ۱۵ باغ از بین جامعه آماری موجود اقداماتی شامل ارزیابی کیفی اجزای سامانه از نظر نوع طراحی، نحوه به کارگیری، کالیبره کردن، نوع مواد مصرفی، میزان آشنایی و نحوه عملکرد کاربر، طراحی اولیه و محاسبه میزان دبی تزریق، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. بررسی خصوصیات فنی و هیدرولیکی نظیر کیفیت نصب تجهیزات، به کارگیری آنها، کالیبره کردن و احیاناً شستشوی شبکه‌های آبیاری پس از کودآبیاری نیز از دیگر موارد مهم در این پژوهش بود.

### ۲-۱- تعیین عمق کاربرد شیمیایی

مقدار آب مصرفی توسط سیستم آبیاری باید در ناحیه ریشه گیاه ذخیره شود. هر گونه رطوبتی که بیش از ظرفیت نگهداری خاک اعمال شود، باعث شسته شدن بیشتر عمق توسعه ریشه گیاه می‌شود.

عمق خاص در خاکی که مواد شیمیایی به آن اضافه می‌شود را می‌توان از میزان راندمان کاربرد سیستم آبیاری، مدت زمان آبیاری، بافت خاک و میزان رطوبت خاک قبل از اعمال کودآبیاری تعیین کرد. محدوده رطوبتی در شرایط معمول را می‌توان به صورت تجربی تشخیص داد اما برای فعالیت‌های تحقیقاتی محدوده رطوبتی با ابزارهای آزمایشگاهی تعیین می‌شود.

**جدول ۱- عمق نفوذ به خاک (سانتیمتر) برای هر ۲/۵ سانتیمتر عمق کاربرد آب برای خاک های مختلف در رطوبت‌های مختلف** (Van der Gulik, 2016).

| محتوای رطوبتی خاک | نوع بافت | | | |
|---|---|---|---|---|
| | شنی | شنی - لومی | لومی | رسی |
| | ظرفیت نگهداری رطوبت (mm/m) | | | |
| | ۵۰-۹۰ | ۱۰۰-۱۴۰ | ۱۴۰-۱۸۰ | ۱۲۰-۱۷۰ |
| ٪۷۵ | ۱۲۲ | ۸۱ | ۵۸ | ۵۱ |
| ٪۵۰ | ۶۱ | ۴۱ | ۳۰ | ۲۵ |
| ٪۲۵ | ۴۱ | ۲۸ | ۲۰ | ۱۸ |

به عنوان مثال، اگر یک سیستم آبیاری ۲/۵ سانتیمتر آب به خاک لومی شنی که دارای رطوبت ۵۰ درصد ظرفیت زراعی است اضافه نماید، آب اعمال شده تا عمق ۴۱ سانتیمتری حرکت می‌کند.

برای اطمینان از اینکه ماده شیمیایی در غلظت‌های مناسب استفاده شود، مهم است که میزان کاربرد و دبی جریان در قطعات سیستم آبیاری مشخص باشد. استفاده بیش از حد از مواد شیمیایی کاری پرهزینه بوده و سازگار با محیط زیست نیست و حتی ممکن است برای محصول مضر باشد و در وهله اول تمام هدف استفاده از یک ماده شیمیایی را از بین ببرد. کاربرد نامناسب ممکن است فرایند کودآبیاری را به اثر مطلوب برنامه نرساند.

کالیبراسیون سیستم تزریق به سیستم آبیاری، در صورتی که این دو به طور هماهنگ عمل کنند ضروری است. برای انجام کالیبراسیون پمپ تزریق، به یک زمان سنج و ظرف مدرج نیاز است. ظرف کالیبراسیون باید شفاف و به اندازه کافی بزرگ باشد تا حجم کافی برای پنج دقیقه تزریق را در خود نگه دارد و فرضاً برحسب میلی‌لیتر یا لیتر کالیبره شود. محفظه کالیبراسیون پر می‌شود و انژکتور مجاز است برای مدت مشخصی از آن پمپ کند. به طور متناوب، در زمان مورد نیاز برای پمپاژ یک حجم ثابت از ظرف اندازه‌گیری می‌شود البته سرعت تزریق را می‌توان با اندازه‌گیری مقدار محلول شیمیایی حذف شده از مخزن تأمین نیز پیدا کرد اگرچه به اندازه یک ظرف کالیبراسیون دقیق نیست.

هنگام انتخاب یک ماده شیمیایی برای تزریق در سیستم آبیاری باید عوامل زیادی در نظر گرفته شود از جمله:

- حلالیت مواد شیمیایی
- اثر مطلوب ماده شیمیایی اعمال شده
- تأثیر مواد شیمیایی بر خاک
- نوع سیستم آبیاری، یکنواختی، کارایی کاربرد و روش توزیع آن.
- سازگاری ماده شیمیایی با منبع آب آبیاری در واقع از مواد شیمیایی که پس از تزریق با عناصر موجود در آب واکنش نشان می‌دهند باید اجتناب شود.
- تعیین ترکیبات شیمیایی مورد استفاده به نحوی که دو یا چند ماده شیمیایی که یا مخلوط می‌شوند یا به طور همزمان استفاده می‌شوند نباید با یکدیگر واکنش نشان دهند تا رسوب تشکیل دهند.
- حالت شیمیایی مواد مورد استفاده نیز مهم است این که ماده شیمیایی در حالت جامد یا مایع باشد، نحوه جابجایی، روش تزریق و میزان تزریق را تعیین می‌کند.

فرمول‌های شیمیایی مختلف حاوی ترکیبات با انواع مختلف پوشش‌ها هستند که در فرایند کودآبیاری بر اساس محتوای مواد مغذی اولیه آنها ($K_2O$ ،$P_2O_5$ ،N)، در کودهای اصلی تقسیم بندی می‌شوند.

برای جلوگیری از آسیب به ریشه گیاه در اثر غلظت بالای کود، غلظت کود در آب آبیاری نباید از پنج درصد تجاوز کند. به طور کلی غلظت کودی یک تا دو درصد در آب آبیاری قابل قبول در نظر گرفته می‌شود.

**جدول ۲- برخی از مهمترین ترکیبات کودی جامد در فرایند کودآبیاری** (Van der Gulik, 2016).

| نوع کود | فرمول شیمیایی | درصد عنصر اصلی | حلالیت (گرم/۱۰۰ گرم آب) | دما (درجه سانتی‌گراد) |
|---|---|---|---|---|
| نیترات آمونیوم | $NH_4NO_3$ | ٪۳۴ N | ۱۱۸ | ۰ |
| | | | ۱۸۷ | ۲۰ |
| | | | ۵۹۰ | ۸۰ |
| سولفات آمونیوم | $(NH_4)_2SO_4$ | ٪۲۱ N | ۷۱ | ۰ |
| | | ٪۲۴ S | ۹۵ | ۸۰ |
| نیترات کلسیم | $Ca(NO_3)_2.4H_2O$ | ٪۱۵ N | ۱۳۴ | ۰ |
| | | | ۳۶۴ | ۱۰۰ |
| سولفات کلسیم | $CaSO_4.2H_2O$ | وابسته به خلوص | ۰/۲۴ | ۰ |
| سولفات مس | $CuSO_4.5H_2O$ | وابسته به خلوص | ۳۲ | ۰ |
| دی آمونیوم فسفات | $(NH_4)_2H_2PO_4$ | ٪۱۸ N | ۲۵ | ۰ |
| | | ٪۲۰ P | | |
| سولفات منیزیم | $MgSO_4.7H_2O$ | وابسته به خلوص | ۸۵ | ۰ |
| سولفات منگنز | $MnSO_4.4H_2O$ | وابسته به خلوص | ۱۰۵ | ۰ |
| مونوآمونیوم فسفات | $NH_4H_2PO_4$ | ٪۱۱ N | ۴۳ | ۰ |
| | | ٪۲۲ P | | |
| نیترات پتاسیم | $KNO_3$ | ٪۱۳ N | ۱۳ | ۰ |
| | | ٪۴۶ $K_2O$ | ۱۶۹ | ۸۰ |
| سولفات پتاسیم | $K_2SO_4$ | ٪۵۳ $K_2O$ | ۸ | ۰ |
| اوره | $CO(NH_2)_2$ | ٪۴۶ N | ۶۷ | ۰ |
| | | | ۱۰۸ | ۲۰ |
| | | | ۱۶۷ | ۴۰ |
| سولفات روی | $ZnSO_4.6H_2O$ | وابسته به خلوص | ۷۰ | ۰ |

**جدول ۳- برخی از مهمترین کودهای مایع در فرایند کودآبیاری** (Van der Gulik, 2016).

| محلول کودی مایع | درصد عنصر اصلی | چگالی (کیلوگرم در لیتر) |
|---|---|---|
| اوره مایع | ٪۲۳ N | ۱/۱۴ |
| نیترات آمونیوم | ٪۲۰ N | ۱/۲۷ |
| اوره- آمونیوم- نیترات | ٪۲۸ N | ۱/۲۸ |
| اسید فسفریک | ٪۵۲ $P_2O_5$ | ۱ |
| | ٪۶۸ $P_2O_5$ | |
| | ٪۷۵ $P_2O_5$ | |
| پتاسیم-آمونیوم-فسفات | ٪۱۵ N | ۱ |
| | ٪۱۵ $P_2O_5$ | |
| | ٪۱۰ $K_2O$ | |

**جدول ۴- انواع عناصر کم‌مصرف مورد استفاده در فرایند کودآبیاری** (Van der Gulik, 2016).

| نوع ترکیب | فرمول شیمیایی | درصد عنصر اصلی | حلالیت (گرم/۱۰۰ گرم آب) | دما (درجه سانتی‌گراد) |
|---|---|---|---|---|
| بوراکس گرانوله | $Na_2B_4O_7 \cdot 1OH_2O$ | ۱۱/۳ | ۲/۵ | ۱ |
| سولو بور | $Na_2B_8O_{13} \cdot 4H_2O$ | ۲۰/۵ | ۲۲ | ۳۰ |
| سولفات مس | $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ | ۲۵ | ۲۴ | ۰ |
| فریک سولفات | $Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$ | ۱۹/۹ | ۴۴۰ | ۲۰ |
| سولفات آهن | $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ | ۲۰/۱ | ۳۳ | ۰ |
| اکزالات آهن | $Fe_2(C_2O_4)_3$ | ۳۰ | بسیار بالا | ۰ |
| سولفات روی | $ZnSO_4 \cdot H_2O$ | ۳۶/۴ | ۸۹ | ۱۰۰ |
| آمونیوم سولفات روی | $ZnSO_4 \cdot (NH_4)2SO_4 \cdot 6H_2O$ | ۱۶/۳ | ۹/۶ | ۰ |
| نیترات روی | $Zn\ (NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ | ۲۲ | ۳۲۴ | ۲۰ |
| سولفات منگنز | $MnSO_4 \cdot 4H_2O$ | ۲۴/۶ | ۱۰۵ | ۰ |

## ۲-۲- انواع سامانه‌های تزریق در فرایند کودآبیاری

### ۲-۲-۱- تزریق غیر فعال

سامانه‌های تزریق غیرفعال از انرژی تأمین شده توسط سیستم آبیاری برای تزریق مواد شیمیایی استفاده می‌کنند. نمونه‌هایی از انژکتورهای غیرفعال عبارتند از ونتوری، لوله پیتوت، استفاده از قسمت مکش پمپ آبیاری و استفاده از اختلاف فشار. در بسیاری از موارد در اجرای سامانه‌های آبیاری روش تزریق مواد شیمیایی در شبکه آبیاری به صورت روش غیرفعال می‌باشد. استفاده از تفاضل فشار ورودی و خروجی و یا ابداعاتی در لوله‌ی مکش پمپ به منظور ورود محلول‌های شیمیایی در شبکه و یا به کارگیری ونتوری‌ها از جمله موارد مرسوم در این بخش می‌باشند.

### ۲-۲-۲- تزریق فعال

سامانه‌های تزریق فعال از یک منبع انرژی خارجی یا یک قطعه متحرک مکانیکی برای ایجاد فشار بیش از فشار خط

اصلی آبیاری برای تزریق ماده شیمیایی استفاده می‌کنند. انواع پمپ‌های دیافراگمی یا پیستونی در این روش مورد استفاده قرار می‌گیرند.

### ۲-۳- محاسبه نرخ تزریق در آبیاری قطره ای

به منظور انجام محاسبات نرخ تزریق می‌بایست اطلاعاتی به شرح زیر را داشته باشیم:

- محدوده مورد کودآبیاری یا تعداد گیاهانی که باید با سیستم آبیاری قطره‌ای کودآبیاری شوند.
- مقدار ماده شیمیایی مورد استفاده در هر هکتار یا هر گیاه.
- محاسبه مقدار کل ماده شیمیایی مورد نیاز.
- تعیین مدت زمان تزریق بر حسب ساعت، عواملی که بر این امر تأثیر می‌گذارند شامل طول مدت زمان تنظیم آبیاری، راندمان کاربرد سیستم .آبیاری، زمان انتقال از نقطه تزریق به منطقه مورد نظر و مقدار ماده شیمیایی مورد استفاده است.
- ترکیب شیمیایی مورد استفاده و غلظت مخلوط.

در صورت مشخص بودن تمام ویژگی‌ها، میزان تزریق مورد نظر را نیز می‌توان با استفاده از رابطه زیر محاسبه کرد:

$$I_c = (Q_c . A) / (C . T)$$

$I_c$: سرعت یا نرخ تزریق (L/min)

$Q_c$: مقدار ماده شیمیایی مصرفی مورد نیاز در سطح کاربرد (kg/ha)

A: مساحت عرصه (ha)

C: غلظت محلول قابل تزریق (kg/L)

T: مدت زمان تزریق (min)

## ۳- نتایج و بحث

جدول ۵ نمای کلی از وضعیت سامانه‌های کودآبیاری در باغ‌های بازدید شده مجهز به شیوه آبیاری قطره‌ای در را نشان می‌دهد.

**جدول ۵- سیمای کلی باغ‌ها.**

| تعداد باغات بازدید شده | نوع سامانه کودآبیاری | | سن درختان (سال) | نوع روش آبیاری | |
|---|---|---|---|---|---|
| | تزریق فعال | تزریق غیرفعال | | قطره ای سطحی | قطره ای زیرسطحی |
| ۵۴ | ۴۱ باغ | ۱۳ باغ | ۱۵-۲۰ | ۵۱ | ۳ |

تحلیل محاسبات طراحی و سایر ویژگی‌های فنی موثر در کیفیت بهره‌برداری از سامانه‌های کودآبیاری به صورت جداگانه در ۱۵ باغ انجام گرفت. خلاصه نتایج حاصل شده در این بخش به شرح جدول ۶ می‌باشد.

**جدول ۶- نتایج بررسی اولیه در ۱۵ باغ.**

| شماره باغ | نوع سامانه آبیاری قطره ای | نوع سامانه کودآبیاری | مساحت باغ ( هکتار) | محل طرح هکتار | نوع خاک | سال اجرا | ارزیابی نرخ تزریق |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | سطحی | تزریق فعال | ۷ | دامنکوه | لومی رسی | ۱۳۹۴ | خوب |
| ۲ | سطحی | تزریق فعال | ۳ | دامنکوه | لومی رسی | ۱۳۹۶ | متوسط |
| ۳ | سطحی | تزریق غیرفعال | ۲ | حومه | رسی | ۱۳۸۹ | متوسط |
| ۴ | سطحی | تزریق فعال | ۵۰ | حومه | لومی رسی | ۱۳۹۴ | خوب |
| ۵ | سطحی | تزریق غیرفعال | ۱۰ | امیرآباد | لومی | ۱۳۹۱ | متوسط |
| ۶ | سطحی | تزریق غیرفعال | ۴/۵ | امیرآباد | لومی | ۱۳۹۰ | ضعیف |
| ۷ | سطحی | تزریق فعال | ۳/۲ | حومه | رسی | ۱۳۹۲ | متوسط |
| ۸ | سطحی | تزریق فعال | ۱۰ | فرات | لومی | ۱۳۹۰ | متوسط |
| ۹ | زیرسطحی | تزریق فعال | ۱۱۵ | امیرآباد | لومی | ۱۳۹۰ | خوب |
| ۱۰ | زیرسطحی | تزریق فعال | ۱۳۴ | حومه | لومی رسی | ۱۳۹۵ | متوسط |
| ۱۱ | زیرسطحی | تزریق غیرفعال | ۱۰۵ | حومه | لومی رسی | ۱۳۹۲ | خیلی خوب |
| ۱۲ | سطحی | تزریق فعال | ۹ | فرات | لومی رسی | ۱۳۹۶ | خیلی خوب |
| ۱۳ | سطحی | تزریق فعال | ۱۰ | فرات | لومی رسی | ۱۳۹۴ | خیلی خوب |
| ۱۴ | سطحی | تزریق غیرفعال | ۱/۵ | حومه | لومی رسی | ۱۳۹۰ | ضعیف |
| ۱۵ | سطحی | تزریق غیرفعال | ۴۵ | حومه | لومی رسی | ۱۳۸۸ | خیلی ضعیف |

انتخاب نوع مواد شیمیایی با پایه‌ی کودی که حلالیت مناسب داشته باشند در تمامی طرح‌ها با دقت نظر مناسب کارشناسان تغذیه انجام شده است ضمن اینکه سطح دانش و آگاهی بهره‌برداران در زمینه کاربرد بسیاری از این اقلام، مطلوب ارزیابی شد. در سامانه‌های تزریق غیر فعال مخازن، تفاضل فشار به منظور کودآبیاری عملکرد مطلوبی ندارند. کاربرد ونتوری‌ها نیز صرفاً در برخی از طرح‌ها در دستور کار بهره‌بردار است که در مواقعی از سال به منظور به کارگیری برخی کودها با پایه اسیدی نظیر اسید فسفریک و یا اسید سولفوریک رقیق شده برنامه‌ریزی شده است.

در تمامی طرح‌ها میزان کود مصرفی برای قطعاتی که همزمان آبیاری می‌شوند در دستور کار قرار دارد و همزمان برنامه‌ریزی کودآبیاری با تعویض هر شیفت آبیاری با شارژ مجدد مخزن کود انجام می‌شود. این روش اگرچه دقت در میزان تزریق و یکنواختی آن را افزایش می‌دهد اما نیازمند عوامل مدیریتی بیشتری می‌باشد تا اختلالی در زمینه کودآبیاری به وجود نیاید.

عملیات شستشوی پس از کود آبیاری در برخی از طرح‌ها بیش از حد مورد نیاز بوده و قطعاً باعث آبشویی محلول‌های کودی و خارج شدن آنها از عمق دسترسی مطلوب ریشه در خاک‌های با بافت سبک خواهد شد. در برخی طرح‌ها به دلیل گستردگی شبکه لوله‌های اصلی و فرعی زمان آبشویی کل شبکه بیش از ۳۰ دقیقه است. این قسمت از کار وابسته است به این مهارت که چه زمانی می‌بایست فرایند کودآبیاری آغاز شده و چه زمانی پس از اتمام عملیات و تخلیه مخزن کود می‌بایست صرف پاکسازی شبکه آبیاری شود که مستقیماً به میزان نرخ تزریق وابسته است.

محل قرارگیری قطره‌چکان‌ها در برخی طرح‌ها در امتداد چاله کودهای حفر شده است که معمولاً با انواع کودهای آلی پرشده‌اند و این کار امکان انتقال ریزمغذی‌ها به همراه شیرابه

کودهای آلی را فراهم نموده است اما در سایر موارد بر اساس میزان ساعت کارکرد سیستم آبیاری، نوع خاک و ارتفاع آب آبیاری اعمال شده، نفوذ عمقی رطوبت به میزان ۴۰ تا ۶۰ سانتیمتری که عمق مناسبی از جهت جذب عناصر مورد نیاز پسته است حاصل نمی‌شود اگرچه این موضوع گاهی اوقات به عملکرد نامناسب سامانه‌ی آبیاری و یا کارائی کود یا عناصر کم‌مصرف مورد استفاده نسبت داده می‌شود اما در صورت مساعد بودن شرایط و امکانات لازم با افزایش ساعت آبیاری می‌توان این مشکل را مرتفع نمود.

در باغ‌هایی که در مناطق با بافت خاک سبک احداث شده‌اند عکس حالت اخیر اتفاق افتاده است. نفوذ عمقی جبهه رطوبت و آبشویی انجام شده عملاً مواد شیمیایی و عناصر کم-مصرف را از دسترس ریشه خارج نموده است. در این طرح‌ها کارایی کودآبیاری تا سطح نازلی پایین آمده است. بنابراین برنامه‌ریزی آبیاری با عمق مناسب این مشکلات را برطرف می‌کند.

محاسبات لازم در خصوص تعیین نرخ درست تزریق تقریباً در تمام طرح‌ها با مشکلاتی مواجه است. عدم برنامه‌ریزی مناسب در این بخش علاوه بر اینکه مواد کودی را در زمان مورد نظر به مقدار کافی در اختیار ریشه قرار نمی‌دهد بلکه در فرایندهای مدیریتی سامانه آبیاری نیز اختلالاتی را به وجود خواهد آورد. در تمامی باغ‌های مورد بررسی مشخصات فنی و نرخ تزریق طبق گردش کار زیر محاسبه و مورد ارزیابی قرار گرفته است. این شیوه‌ی محاسبه در عین سادگی به خوبی عملکرد یک سامانه تزریق کود را بیان خواهد کرد.

برای اعمال فرضاً ۱۵ گرم کود محلول در آب آبیاری با نام سولوپتاس برای هر درخت که از کودهای پرمصرف در باغ‌های پسته است در طی سه نوبت آبیاری اگر تعداد ۱۰۰۰ اصله درخت در هر برنامه‌ی همزمان آبیاری مدنظر باشد مقدار کود مصرفی برای هر نوبت آبیاری که برای آن صرف می‌شود به صورت زیر محاسبه می‌شود.

* مقدار مورد نیاز برای هر درخت) : مقدار کود مورد نیاز (تعداد دفعات کودآبیاری* درصد خالص پتاس) / تعداد درخت
(0.56 *3) / (درخت 1000* (درخت/گرم 15)
کیلوگرم 9/0 = گرم 8928

عدد ۰/۵۶ میزان خالص پتاس موجود در ترکیب کودی است.

میزان حلالیت این کود بر حسب کیلوگرم در لیتر آب از جدول ۲ استخراج می‌شود که به میزان ۰/۰۸ کیلوگرم در هر لیتر آب است. حال میزان ۹ کیلوگرم در هر نوبت آبیاری اگر بر این میزان عدد استخراج شده تقسیم شود:

(9/0) / (0.08) = 112/5

بنابراین حداقل اندازه مخزن ذخیره مورد نیاز ۱۱۲/۵ لیتر است. اگر فرضاً مقدار کود ذکر شده را در یک مخزن ۲۰۰ لیتری حل کنیم غلظت نهایی محلول کودی ما به صورت زیر محاسبه خواهد شد:

9 / 200 = 0/045

با این پیش فرض که زمان کارکرد سیستم سه ساعت باشد و فرض کنیم کل بازه‌ی زمانی کودآبیاری یک ساعته است، میزان سرعت تزریق با پمپ از این مخزن ۲۰۰ لیتر بر ساعت محاسبه می‌شود.

کل آب مصرفی در بازه‌ی زمانی یک ساعته در شبکه آبیاری برای آبیاری این ۱۰۰۰ اصله درخت چنانچه برای هر درخت دو عدد قطره چکان با دبی هشت لیتر بر ساعت در نظر گرفته شده باشد به صورت زیر محاسبه می‌شود:

= لیتر در ساعت برای هر درخت 16 * درخت 1000
لیتر بر ساعت 16000

با این حال:
= (لیتر در ساعت 16000) / (لیتر در ساعت 200)
1/25 % یا 0.0125

بر این اساس در این مدل غلظت ترکیب این کود با آب آبیاری در محدوده بین یک تا دو درصد به دست آمده است که در محدوده مجاز غلظت یک ترکیب کودی برای کودآبیاری است. بنابراین میزان تزریق ۲۰۰ لیتر در ساعت نرخ تزریق مناسبی برای این شبکه آبیاری خواهد بود.

با انجام محاسبات مشابه در باغ‌های مورد ارزیابی مشخص گردید که با محاسبه زمان تخلیه مخزن در عمل با افزایش غلظت اولیه در شروع فرایند کودآبیاری مواجه هستیم که در برخی موارد ممکن است مسمومیت‌های گیاهی را به همراه داشته باشد.

غلظت محلول کودی در آب آبیاری بر اساس زمان تخلیه و حجم مخزن در برخی طرح‌ها تا بیش از پنج درصد نیز محاسبه شده است.

میزان خوردگی در مخازن تصفیه آب شنی و توری بیان کننده این موضوع است که به کارگیری مخازن تصفیه فیزیکی از جنس پلیمری عمر بهره‌برداری از سامانه‌های آبیاری و کودآبیاری در کنار هم را افزایش خواهد داد.

## ۴- نتیجه‌گیری کلی

حذف مخازن کود تحت‌فشار (سامانه‌های تزریق غیرفعال) که به صورت سنتی در اجزای فیلتراسیون طرح‌های آبیاری قطره‌ای وجود دارد و جایگزینی آنها با سامانه‌های تزریق کود فعال، نتایج مطلوبی در تغذیه باغ‌های پسته دارد. این سامانه‌ها با بالا بردن راندمان کاربرد انواع ریزمغذی‌ها نقش موثری در کمیت و کیفیت محصول تولیدی دارند. در بسیاری از موارد با بالا رفتن هزینه‌های تأمین برخی نهاده‌های کودی، کاربرد سامانه‌های تزریقی که بتوانند با مقادیر تنظیم شده، عناصر مورد نیاز را به بهترین شکل در عمق توسعه ریشه قرار دهند موضوعی اجتناب ناپذیر است.

طراحی درست و متناسب با شرایط بهره‌برداری، در هر طرح، از دیگر موضوعات مهم در بکارگیری سامانه‌های تزریق کود است. به منظور کاهش هزینه‌های ثابت اولیه در اجرای یک پروژه، طراحی ابعاد فنی شامل مخزن ذخیره مناسب، ظرفیت و نوع پمپ تزریق مورد استفاده براساس شرایط بهره‌برداری در هر طرح، بسیار حائز اهمیت است. مبنای طراحی درست در این بخش با محاسبه دقیق نرخ تزریق مناسب در شبکه آبیاری، ارتباط مستقیمی دارد و تابعی از مشخصات سامانه‌ی آبیاری در حال بهره‌برداری خواهد بود، همانگونه که در تحقیق گیدیو (Ghidiu, 2012) انتخاب نوع سامانه تزریق متناسب با قطره چکان‌های مناسب در یک طرح آبیاری قطره‌ای مورد تاکید قرار گرفته است. در پژوهش انجام شده توسط استیورس و همکاران (Stivers *et al*., 2015) نیز نقش آرایش شبکه در یک سیستم آبیاری در یکنواختی کاربرد مطلوب یک سامانه کودآبیاری به خوبی نشان داده شده است. بنابراین وقتی یک سامانه‌ی آبیاری قطره‌ای با در نظر گرفتن جمیع ملاحظات فنی به خوبی طراحی و اجرا شده باشد می‌توان متناسب با آن در گام نخست با محاسبه اولیه نرخ تزریق، سامانه کودآبیاری مناسب آن را طراحی نمود. بدیهی می‌باشد که کیفیت لوازم مصرفی مورد استفاده در این بخش نیز نقش مهمی در کیفیت و عمر بهره‌برداری خواهد داشت.

**تضاد و تعارض منافع** – نویسندگان هر گونه تعارض و تضاد منافع اعم از تجاری و غیر تجاری و شخصی را که در ارتباط مستقیم یا غیر مستقیم با اثر منتشر شده است رد می نمایند.

## منابع

آمارنامه کشاورزی ایران، (۱۴۰۲). وزارت جهادکشاورزی.

قائمی، ع. ا.، رضا زاده، ع. ر. (۱۳۸۴). کود آبیاری ( کاربرد کود و مواد شیمیایی محلول در سیستم های آبیاری تحت فشار) . سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی.

Granberry, D. M., Harrison, K. A., & Kelley, W. T. (2009). Drip chemigation: Injecting fertilizer, acid and chlorine. *The University of Georgia College of Agricultural and Environmental Sciences/Cooperative Extension*, 1-11.

Ghidiu, G. M. (2012). Insectigation in vegetable crops: the application of insecticides through a drip, or trickle, irrigation system. *Integrated pest management and pest control: current and future tactics. InTech Press, Rijeka, Croatia*, 173-190.

King, B. A., Wall, R. W., & Karsky, T. F. (2009). Center-pivot irrigation system for independent site-specific management of water and chemical application. *Applied engineering in agriculture*, *25*(2), 187-198.

Lamont, W. J., Bartok, J. W., Berghage, R. D., Bonanno, A. R., Fiola, J. A., Garrison, S. A., ... & Wells, O. S. (2004). *Production of Vegetables, Strawberries, and Cut Flowers Using Plasticulture (NRAES-133)*. Natural Resource, Agriculture, and Engineering Service (NRAES).

Stivers, L. (2015). How to Mix a Stock Fertilizer Solution for Injectors. Penn State Extension. (Pennsylvania State University) Available at https://extension.psu.edu/how-to-mix-a-stockfertilizer-solution-for-injectors (verified 30 Dec 2019).

Ted W. Van der Gulik, P.eng. Chemigation Guideline for British Columbia. (Last updated on June 22, 2016)

Topper, K. F., Tindall, T. A., & James, D. W. (2010). Field crops. *DW James and KF Topper, Editors*, 10.

USDA-National Resource Conservation Service (NRCS). (1997). Chemigation. National Engineering Handbook Series. *Irrigation Handbook*, *7*, 207-219.