تحقیقات آب و خاک ایران، دورهٔ ۴۷، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۳۹۵ (ص ۵۳۷-۵۲۹)

مقایسه گرفتگی چند نوع قطره‌چکان داخل خط در اثر نفوذ ریشه تحت آبیاری قطره‌ای زیرسطحی

مرضیه محمدیان[۱]، مهدی قیصری [۲]*، فروغ فاضل[۳]، نعمت ا... اعتمادی [۴]

۱. دانشجوی کارشناسی سابق، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲. دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۳. دانشجوی کارشناسی ارشد، آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه اراک

۴. دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۸/۲۸- تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۱۲/۲)

چکیده

هدف این پژوهش بررسی میزان گرفتگی قطره‌چکان‌ها توسط ریشه در چهار نوع قطره‌چکان در آبیاری زیرسطحی چمن اسپرت بود. تیمارهای آزمایشی شامل چهار نوع قطره‌چکان با آبدهی متفاوت شامل ۳/۵، ۴، ۲/۲ و ۲ لیتر بر ساعت (به ترتیب T1، T2، T3 و T4) بود. تیمارهای آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی در سه تکرار در مدت دو سال اجرا شد. بافت خاک سایت آزمایشی لوم رس سیلتی بود. شاخص‌های یکنواختی در ابتدا و انتهای آزمایش شامل شاخص تغییرات جریان (q_{var})، ضریب تغییرات ساخت (CV)، ضریب یکنواختی پخش قطره‌چکان (CU)، یکنواختی پخش آب (EU) و یکنواختی آماری (Us) اندازه‌گیری شدند. مقدار شاخص EU قطره‌چکان‌ها برای تیمارهای T1، T2، T3 و T4 در ابتدای آزمایش به ترتیب برابر ۹۶، ۸۷، ۹۴ و ۹۴ درصد و در پایان آزمایش به ترتیب ۷۹، ۱۹، ۴۵ و ۸۵ درصد بود. در تیمارهای T1 و T4 (قطره‌چکان‌های پلاک دار) حدود ۴٪ گرفتگی و در تیمارهای T2 و T3 (قطره‌چکان‌های استوانه‌ای) به ترتیب ۲۴٪ و ۳۶٪ درصد گرفتگی قطره‌چکان توسط ریشه مشاهده شد. قطره‌چکان‌های پلاک دار نسبت به قطره‌چکان‌های استوانه‌ای، کارایی بیشتری در برابر گرفتگی توسط ریشه چمن دارند.

واژه‌های کلیدی: آبیاری موضعی، انسداد فیزیکی، شاخص‌های یکنواختی، لوله دریپردار

مقدمه

به سبب محدودیت منابع آب شیرین و مسئله بحران منابع آب در کشور، توجه به ارتقاء بهره‌وری آب آبیاری یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر است. ارتقاء سیستم‌های آبیاری و اصلاح روش‌های ارزیابی سیستم‌های آبیاری، دو راهکاری است که در نیل به این مقصود راه گشا است و در افزایش کارایی مصرف آب مؤثرند (Najafi, 2006). دستگاه‌های آبیاری زیرسطحی به خاطر قرار ندادن آب در معرض تبخیر و رساندن مستقیم آب به منطقه توسعه ریشه‌های گیاه و همچنین کاهش نفوذ عمقی، صرفه‌جویی فراوانی در میزان آب مصرفی می‌نمایند. بدین سبب راندمان آبیاری در سیستم‌های زیرسطحی در مقایسه با سایر سیستم‌های آبیاری به مقدار قابل‌توجهی افزایش می‌یابد (Dastorani *et al*, 2008).

کارایی و مناسب بودن سیستم آبیاری زیرسطحی برای چمن و مزایای متعدد آن قبلاً گزارش شده است (Abdi, 2003; Camp *et al*, 2000; Solomon and Jorgesen, 1993)؛ اما حساس‌ترین بخش در آبیاری قطره‌ای کارایی قطره‌چکان‌ها ازنظر یکنواختی پخش، دوام، طول عمر و مقاومت آن در مقابل گرفتگی توسط عوامل مختلف می‌باشد. گرفتگی قطره‌چکان‌ها به‌عنوان بزرگ‌ترین مشکل اجرایی سیستم‌های آبیاری قطره‌ای مطرح می‌باشند. گرفتگی قطره‌چکان‌ها باعث کاهش دبی تخلیه، غیریکنواختی پخش آب، بالا رفتن هزینه‌های نگهداری سیستم مانند کنترل قطره‌چکان‌ها و تعویض یا تعمیر آن‌ها و درنتیجه صدمه به گیاه می‌گردد. گرفتگی‌ها ممکن است براثر عوامل فیزیکی و شیمیایی و یا زیستی (بیولوژیکی) اتفاق بیفتد (Zarei *et al* 2006) که میزان این نوع گرفتگی قطره‌چکان‌ها در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در مقایسه با گرفتگی ریشه پایین‌تر است (Hills *et al*, 1989).

یکی از مهم‌ترین مشکلات پیش رو آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، گرفتگی قطره‌چکان‌ها در اثر مزاحمت‌های ریشه گیاه است (Ayars *et al*,1999; Camp, 1998; Suarez Rey *et al*,2000). دلیل توسعه بیشتر آبیاری قطره‌ای سطحی نسبت به آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، مشکلات نفوذ ریشه و مسدود شدن

* نویسنده مسئول: gheysari@cc.iut.ac.ir

قطره‌چکان‌ها گزارش شده است (Camp *et al*,1997). تمایل به نفوذ ریشه داخل قطره‌چکان در گیاهان مختلف متفاوت است. مشکلات گرفتگی توسط ریشه در تمام دوره رشد ریشه ادامه دارد و در فصل‌های پاییز و زمستان که آبیاری انجام نمی‌شود و همچنان رشد ریشه وجود دارد، جدی‌تر می‌باشد (Hanson *et al*,1997). چمن برمودا دارای مشکلات جدی نفوذ ریشه در کمتر از یک سال است (Suarez Rey *et al*, 2000). در یک سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، نوسان و تغییر دبی خروجی‌ها، نشانگر گرفتگی قطره‌چکان‌ها است (Adin and Sacks, 1991) که این گرفتگی می‌تواند تحت تأثیر ورود خاک یا ریشه به داخل قطره‌چکان باشد. اقدامات اتخاذشده صنعت تجهیزات آبیاری برای مهار نفوذ ریشه بر اساس اصول شیمیایی، از طریق اختلاط علف‌کش‌ها در مواد پلاستیکی قطره‌چکان (Camp *et al*, 1997) و یا استفاده از علف‌کش به‌طور مستقیم به آب آبیاری، (Zoldoske, 1999) و رعایت اصول فیزیکی مرتبط به ساختمان داخلی و یا تنظیمات دهانه خروجی قطره‌چکان‌ها (Barth, 1999) می‌باشد.

میزان نفوذ ریشه در لوله‌های آبده بر اساس شرکت سازنده و نوع تکنیک‌های ساخت قطره‌چکان متفاوت است (Bui, 1990). نفوذ ریشه قهوه و ریشه مرکبات در ۱۴ مدل مختلف قطره‌چکان مورد آزمایش قرار گرفت (Coelho and Faria, 2003). برای تمام قطره‌چکان‌ها نفوذ ریشه وجود داشت، اما تحت تأثیر نوع و دبی قطره‌چکان، گرفتگی‌ها متفاوت بود. نتایج نشان داد که گرفتگی در قطره‌چکان‌های معمولی کمتر از قطره‌چکان‌های جبران‌کننده فشار بود. قطره‌چکان‌های جبران‌کننده فشار به ناپایداری گرایید، به‌طوری‌که دبی متوسط در ابتدای آزمایش افزایش و سپس کاهش یافت. هرچه روزنه قطره‌چکان کوچک‌تر باشد، احتمال گرفتگی در اثر نفوذ ریشه کمتر خواهد بود، ولی در برابر گرفتگی ذرات دچار ضعف بیشتری است (Lamm and Camp, 2007). نوع قطره‌چکان و مواد مورداستفاده در ساخت آن فاکتورهای اصلی تغییرات دبی قطره‌چکان هستند (Capra and Scicolone,1998). بر اساس آنالیزهای شیمیایی و میکروسکوپی که روی بسیاری از قطره‌چکان‌ها و لوله‌ها انجام شده است، دلایل گرفتگی از یک موقعیت به موقعیت دیگر بسیار متفاوت بوده به همین دلیل توصیه شده است که مدیریت و بررسی‌های لازم برای هر موقعیت به‌طور خاص صورت گیرد تا کاهش دبی و غیریکنواختی توزیع آب به دلیل گرفتگی در سیستم قطره‌ای به حداقل کاهش یابد (Nakayama and Bucks, 1991). نفوذ ریشه و فشار ریشه‌ای در لوله‌های آبده مشکلات منحصربه‌فردی برای آبیاری زیرسطحی به وجود آورده است که می تواند یکنواختی سیستم را کاهش دهد. اگرچه مشکلات سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی مدت طولانی است که مطرح شده است، اما اطلاعات کمی درزمینهٔ آبیاری قطره‌ای زیرسطحی فضای سبز در دسترس هستند. نظر به اینکه یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در گرفتگی قطره‌چکان‌ها مکانیزم عمل و نحوه ساختمان داخلی قطره‌چکان‌ها است، هدف از این مطالعه بررسی تأثیر نوع ساختمان داخلی و دبی قطره‌چکان‌ها در گرفتگی توسط ریشه برای چهار قطره‌چکان رایج آبیاری قطره‌ای زیرسطحی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

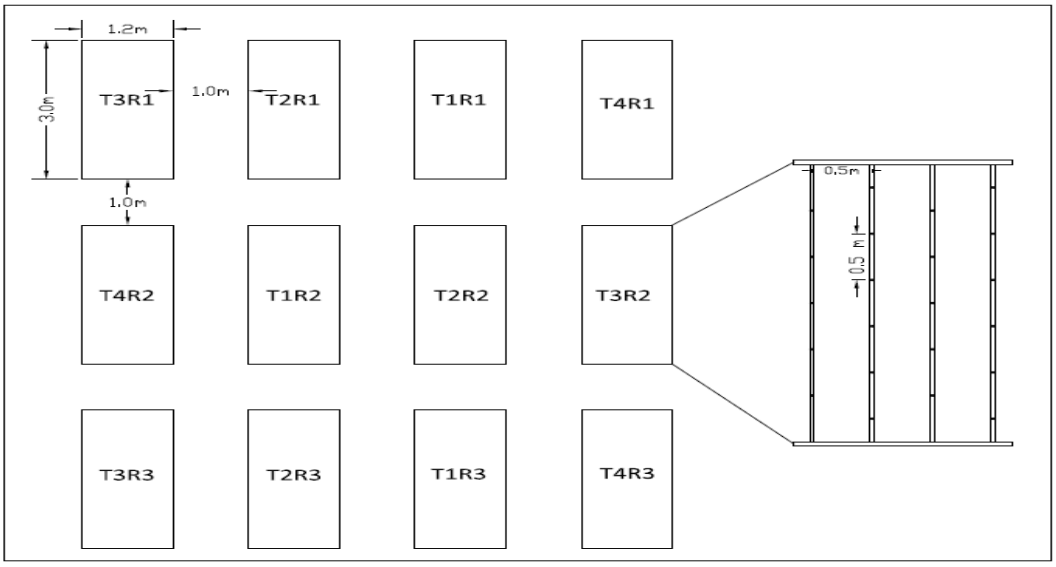
مشخصات محل اجرای آزمایش و نحوه اجرای طرح

این پژوهش از اردیبهشت سال ۱۳۹۱ تا مهرماه سال ۱۳۹۲ به‌منظور بررسی تأثیر نوع قطره‌چکان در انسداد قطره‌چکان‌ها در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و تأثیر آن بر خصوصیات ظاهری چمن اسپرت، انجام شد. آزمایش در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار در قطعه زمینی به مساحت ۱۸۰ مترمربع در دانشگاه صنعتی اصفهان اجرا شد. این منطقه دارای طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲۳ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۲ دقیقه شمالی و در ارتفاع ۱۶۳۰ متری از سطح آب‌های آزاد قرار دارد. تیمارها شامل چهار نوع لوله دریپردار با آبدهی متفاوت مطابق جدول (۱) بود. دو مدل قطره‌چکان داخل خط شامل پلاک دار و استوانه‌ای با دو دبی متفاوت استفاده شد. نوع قطره‌چکان تیمارهای T1 (آبدهی زیاد) و T4 (آبدهی کم) پلاک دار و نوع قطره‌چکان تیمارهای T2 (آبدهی زیاد) و T3 (آبدهی کم) استوانه‌ای بود.

عملیات آماده‌سازی زمین و کاشت در تاریخ ۹۱/۲/۱۵ انجام شد. روی زمین ۱۲ کرت به ابعاد ۱/۲×۳ (متر×متر) ایجاد شد. بین کرت‌ها و همچنین بین بلوک‌ها (تکرارها) یک متر فاصله در نظر گرفته شد. برای تعیین فاصله نصب لوله‌های دریپردار عرض پیاز رطوبتی در محل اجرای طرح اندازه‌گیری و بر آن اساس فاصله نصب لوله‌ها ۳۰ سانتیمتر و فاصله قطره‌چکان‌ها از هم ۵۰ سانتی‌متر تعیین شد. قبل از اجرای سیستم در سایت آزمایشی لوله دیپردار نصب و سیستم آبیاری برای زمان‌های ۲، ۴ و ۶ ساعت راه‌اندازی شد. پس از ۱۲ ساعت با حفر پروفیل و به روش مشاهده‌ای عرض خیس شده در عمق ۱۰ سانتی‌متری (محدوده نصب لوله) اندازه گیری شد. دوازده متر لوله شامل ۲۴ قطره‌چکان به فاصله نیم متر (لوله دریپردار)، در هر کرت آزمایشی در عمق ۱۰-۷ سانتی‌متری سطح خاک نصب شد. قرارگیری لوله‌ها در کرت به‌صورت پیوسته مطابق شکل (۱) بود.

جدول ۱. ویژگی‌های لوله و قطره‌چکان‌های لوله دریپردار مورداستفاده

مدل قطره‌چکان	کد	نوع قطره‌چکان	آبدهی اسمی (lit/hr)	محدوده کارکرد فشار (bar)	ضخامت دیواره لوله (mm)	قطر داخلی لوله (mm)
UniRam Netafim	T1	پلاک دار	۳/۵	۰/۵-۴	۰/۹	۱۴/۲
PC ساخت ایران	T2	استوانه‌ای	۴	۱-۴	۱	۱۳/۶
John Deere Hydro PC	T3	استوانه‌ای	۲/۲	۰/۸-۳/۵	۱/۱	۱۳/۸
John Deere D5000	T4	پلاک دار	۲	۰/۵-۳/۵	۱/۱	۱۳/۸



شکل ۱. نمای طرح آزمایشی و محل قرارگیری لوله‌ها در کرت‌های آزمایشی

به‌منظور جلوگیری از گرفتگی فیزیکی سیستم از یک عدد فیلتر دیسکی با مش ۱۲۰ استفاده شد. شیر هوا در بالاترین رقوم ارتفاعی به‌منظور ورود هوا به داخل سیستم و جلوگیری از ایجاد فشار منفی نصب گردید. قبل از کاشت کمپوست به میزان ۵ کیلوگرم بر مترمربع درکرت‌ها پخش شد. کاشت بذر چمن اسپرت به روش کاشت دستی انجام شد. به‌منظور استقرار چمن، به مدت یک ماه آبیاری با آبپاش دستی روزانه انجام شد. بافت خاک مزرعه آزمایشی لوم رس سیلتی، با چگالی ظاهری ۱/۳۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب بود (جدول ۲).

زمان آبیاری بر اساس تخلیه ۶۰٪ رطوبت قابل‌استفاده از عمق توسعه ریشه تعیین شد و عمق آب آبیاری برای جبران کمبود آب خاک تا حد ظرفیت مزرعه محاسبه و اعمال گردید. رطوبت خاک به‌وسیله دستگاه رطوبت‌سنج مدل GMK-770S به‌صورت روزانه در عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری قرائت شد. حجم آب آبیاری با استفاده از کنتورهای نصب‌شده در ابتدای لوله اصلی ۱۶ میلی‌متری کنترل می‌شد. آب بدون محدودیت فیزیکی و شیمیایی استفاده شد (جدول ۳) تا اثر سایر عوامل گرفتگی در آزمایش حذف شود و تنها عامل گرفتگی توسط ریشه موردبررسی قرار گیرد.

جدول ۲. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه موردمطالعه

عمق نمونه (cm)	pH	رسانایی الکتریکی (dS/m)	رس (٪)	شن (٪)	سیلت (٪)	رطوبت ظرفیت زراعی (درصد حجمی)	رطوبت پژمردگی (درصد حجمی)	چگالی ظاهری (gr/cm^3)
۳۰-۰	۸/۲۸	۱/۸۴	۳۲	۱۵	۵۳	۳۲	۱۷	۱/۳۵

جدول ۳. برخی خصوصیات شیمیایی آب مورداستفاده

pH	EC (dS/m)	Na (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	SAR
۷/۲۵	۰/۶	۵/۲۲	۷۶	۱۲	۳/۴

شاخص‌های ارزیابی

در ابتدای آزمایش و همچنین در انتهای آزمایش شاخص‌های ارزیابی قطره‌چکان اندازه‌گیری شد. در پایان آزمایش برای کنترل میزان گرفتگی ۷۲ قطره‌چکان نصب‌شده در هر چهار تیمار آزمایشی به همراه لوله، از زیر خاک بیرون کشیده شده و برای تست یکنواختی، میزان دبی خروجی از قطره‌چکان‌ها در مدت‌زمان مشخص و فشارثابت اندازه‌گیری شد. شاخص‌های q_{var}، CV، UC، EU، Range و Us مورد ارزیابی قرار گرفتند.

-**شاخص تغییرات جریان (q_{var})**: این شاخص برای بررسی تغییرات دبی قطره‌چکان، حداکثر و حداقل دبی است که به‌صورت زیر توصیف می‌شود (Jiang and Kang, 2010). مقدار q_{var} درصورتی‌که کمتر از ۱۰ درصد باشد ازلحاظ طبقه‌بندی یکنواختی پخش «خوب»، اگر q_{var} بین ۱۰ تا ۲۰ درصد باشد «قابل‌قبول» و درصورتی‌که بزرگ‌تر از ۲۰ درصد باشد ازلحاظ طبقه‌بندی «غیرقابل‌قبول» ارزیابی می‌شود (Keller and Bliesner, 1990).

$$q_{\text{var}} = 100 \times \left(1 - \frac{q_{\min}}{q_{\max}}\right) \qquad \text{(رابطه ۱)}$$

در رابطه بالا q_{min}: کمترین مقدار دبی مشاهده‌شده، q_{max}: بیشترین مقدار دبی مشاهده‌شده و q_a: متوسط مقدار دبی مشاهده‌شده است.

-**ضریب تغییرات ساخت (CV)**: درصورتی‌که قطره‌چکان‌ها ازنظر ابعادی، یکسان ساخته نشوند تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای بر کاهش یکنواختی خروج آب خواهند گذاشت. شاخص CV یکنواختی شدت‌جریان خروجی از تعدادی خروجی در فشار یکسان است و به‌صورت زیر محاسبه می‌شود (Keller and Karmeli, 1974):

$$CV = \frac{S_d}{q_a} \qquad \text{(رابطه ۲)}$$

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(q_i - q_a)^2}{n-1}} \qquad \text{(رابطه ۳)}$$

که در آن‌ها qi: دبی اندازه‌گیری شده قطره‌چکان، qa: متوسط دبی قطره‌چکان‌ها و Sd:انحراف از معیار دبی‌های اندازه‌گیری شده قطره‌چکان‌های مورد آزمایش برحسب لیتر در ساعت و n تعداد قطره‌چکان مورد آزمایش می‌باشد.

-**ضریب یکنواختی پخش قطره‌چکان‌ها (CU)**: کریستیانسن (Christiansen, 1941) معادله زیر را برای محاسبه ضریب یکنواختی پخش قطره‌چکان‌ها ارائه کرده است.

$$CU = \left[1 - \left(\frac{1}{nq_a}\right)\sum_{i=1}^{n}|q_i - q_a|\right] \times 100 \qquad \text{(رابطه ۴)}$$

که CU: ضریب یکنواختی کریستیانسن برحسب درصد و n: تعداد مشاهدات است.

یکنواختی پخش آب (EU): اساسی‌ترین عامل تأثیرگذار بر بازده کاربرد آب در آبیاری قطره‌ای یکنواختی پخش است. تعریفی که کلر و کارملی (Keller and Karmeli, 1974) برای یکنواختی پخش ارائه کردند، بر اساس رابطه بین حداقل و متوسط شدت دبی قطره‌چکان‌های سیستم به شرح زیر بود (Sadeghi and Peters, 2012):

$$EU = \frac{q_n}{q_a} \times 100 \qquad \text{(رابطه ۵)}$$

EU: یکنواختی پخش برحسب درصد، q_n: میانگین یک‌چهارم کمترین دبی قطره‌چکان‌ها برحسب لیتر در ساعت است.

شاخص Range: شاخص Range به‌صورت نسبت اختلاف بین ماکزیمم و مینیمم جریان خروجی در خطوط لوله بر میانگین جریان خروجی تعریف می‌شود. مقدار پذیرفته‌شده تغییرات Range در حدود ۱۰ ± درصد می‌باشد (Ascough and Kiker, 2002).

$$Range = 100 \times \left(\frac{(q_{\max} - q_{\min})}{q_a}\right) \qquad \text{(رابطه ۶)}$$

یکنواختی آماری (Us): انجمن مهندسین کشاورزی آمریکا برای محاسبه یکنواختی آماری دبی قطره‌چکان‌ها معادله زیر را ارائه کرده است (ASAE, 2003).

$$U_s = 100 \times (1 - CV) \qquad \text{(رابطه ۷)}$$

جدول ۴. توصیف عملکرد فنی و هیدرولیکی قطره‌چکان‌های مورد آزمایش (ASAE, 2003)

ارزیابی عملکرد قطره‌چکان	CV*	EU	Us
عالی	< ۵	≥ ۹۰	≥ ۹۰
خیلی خوب	۵-۷	۸۰-۹۰	۸۰-۹۰
نسبتاً خوب	۷-۱۱	۷۰-۸۰	۷۰-۸۰
ضعیف	۱۱-۱۵	۶۰-۷۰	۶۰-۷۰
غیرقابل‌قبول	> ۱۵	≤ ۶۰	≤ ۶۰

* تمام پارامترهای فوق برحسب درصد می‌باشند.

خصوصیات ظاهری چمن

رنگ چمن در طول مطالعه در دوره‌های مشخص اندازه‌گیری شد. رنگ چمن‌های آزمایش‌شده به‌صورت مشاهده‌ای توسط یک فرد متخصص چمن مقایسه شدند. به هر تیمار برحسب رنگ آن امتیاز داده شد. در این امتیازبندی عدد ۹ بیانگر رنگ و تراکم عالی، ۸ بسیار خوب، ۷ خوب، ۶ قابل‌قبول، ۵ و کمتر نامناسب و ۱ تراکم بسیار ناچیز و رنگ کاملاً زرد است (Sattari *et al*, 2007). درنهایت داده‌های برداشت‌شده در قالب طرح آزمایشی مورداستفاده به کمک نرم‌افزار SAS 9.1 آنالیز و نتایج آن تحلیل گردید. برای مقایسه میانگین تأثیر هر یک از تیمارها از آزمون LSD در سطح معنی‌داری ۵ درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

در این تحقیق تأثیر نوع قطره‌چکان بر میزان گرفتگی توسط ریشه چمن بررسی شد. مقدار یکنواختی پخش برای چهار قطره‌چکان در ابتدا و انتهای آزمایش با استفاده از معادله‌های ۱ تا ۷ محاسبه گردید که نتایج آن در جدول (۵) ارائه شده است.

ملاحظه می‌شود که شاخص‌های یکنواختی قطره‌چکان‌ها تحت تأثیر نوع قطره‌چکان قرار دارد. در ابتدای آزمایش قطره‌چکان تیمار T2 پایین‌ترین یکنواختی ساخت را داشت و به ترتیب تیمارهای T1، T3 و T4 بهترین یکنواختی ساخت را داشتند. نتایج دلالت بر کیفیت پایین قطره‌چکان مدل T2 داشت. همچنین نتایج اندازه‌گیری CV در پایان آزمایش نشان داد بیشترین مقدار CV برای قطره‌چکان T2 و کمترین برای مدل T1 رخ داده است. عامل مهم و مؤثر بر یکنواختی دبی خروجی قطره‌چکان‌ها، تغییرات ساخت در بین قطره‌چکان‌ها است که نحوه طراحی هیدرولیکی قطره‌چکان و همچنین میزان دقت اعمال‌شده در طی مراحل ساخت و تولید را مدنظر قرار می‌دهد (Solomon, 1979).

در ابتدای آزمایش کمترین مقدار شاخص Range در قطره‌چکان T1 (کیفیت قابل‌قبول) و بیشترین مقدار برای قطره‌چکان T2 (غیرقابل‌قبول) مشاهده شد. در انتهای آزمایش نیز تمامی قطره‌چکان‌ها دارای شاخص Range بیشتر از ۱۰۰ بودند که نشان‌دهنده اختلاف زیاد بین کمترین و بیشترین دبی اندازه‌گیری شده قطره‌چکان‌ها است و نشان‌دهنده وقوع گرفتگی کامل حداقل در یک قطره‌چکان می‌باشد. این یافته تأییدی بر یافته‌های سایر محققان است که گرفتگی قطره‌چکان به‌وسیله ریشه چمن در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی را متذکر شده بودند (Blass, 1964; Camp *et al*,1997; Suarez Rey *et al*, 2000).

پراکندگی دبی‌های اندازه‌گیری شده در ابتدا و انتهای آزمایش قطره‌چکان T1 و T4 تقریباً در محدوده دبی متوسط قطره‌چکان‌ها (به ترتیب ۳/۵ و ۲ لیتر بر ساعت) قرار دارند که بیانگر تأثیر کم گرفتگی به‌وسیله ریشه در این نوع قطره‌چکان می‌باشد (شکل ۲). برای قطره‌چکان‌های T2 و T3 در ابتدای آزمایش پراکندگی دبی‌های اندازه‌گیری شده تقریباً در محدوده دبی متوسط قرار دارد، درحالی‌که دبی‌های اندازه‌گیری شده در انتهای آزمایش بسیار پراکنده به دست آمد و این نشان از گرفتگی قطره‌چکان‌ها توسط ریشه در طول مدت آزمایش می‌باشد. یکنواختی پخش آب در ابتدای آزمایش برای تمامی قطره‌چکان‌ها بالاتر از ۹۰ درصد بود و ازنظر ارزیابی تمام قطره‌چکان‌ها عالی ارزیابی شدند، اما باگذشت زمان ایجاد گرفتگی در قطره‌چکان‌ها باعث کاهش یکنواختی‌ها بخصوص برای دو قطره‌چکان T2 و T3 شد. به‌گونه‌ای که در پایان دوره آزمایش بیشترین مقدار یکنواختی پخش (۷۹/۱ درصد) مربوط به T1 و کمترین مقدار آن (۱۹/۲۶ درصد) مربوط به قطره‌چکان مدل T2 بود.

زمانی که دبی قطره‌چکان به ۵۰ درصد دبی اسمی برسد، در این حالت قطره‌چکان مسدود شده اطلاق می‌گردد (Adin and Sacks, 1991; Gilbert *et al*, 1979). به‌منظور بررسی قطره‌چکان‌هایی که در آن‌ها گرفتگی رخ نداده، قطره‌چکان‌هایی که دبی آن‌ها کمتر از ۵۰ درصد دبی اسمی قطره‌چکان مورد آزمایش بود حذف شدند و شاخص‌های یکنواختی با قطره‌چکان‌های باقیمانده مجدد محاسبه گردید. اگرچه با حذف قطره‌چکان‌های گرفته‌شده مقدار شاخص‌ها بهبود یافتند، اما بازهم قطره‌چکان‌های T1 و T4 بهترین بودند.

تعداد قطره‌چکان‌های گرفته‌شده به ترتیب در تیمارهای T1 و T2 و T3، T4 برابر ۳، ۱۷، ۲۶ و ۳ عدد از ۷۲ قطره‌چکان مورد آزمایش در هر تیمار بود. شاخص Range محاسبه‌شده در این حالت برای تمامی قطره‌چکان‌ها در محدوده ۶۰ تا ۷۶ قرار داشت که نشان می‌دهد با حذف قطره‌چکان‌های مسدود شده همچنان در بین قطره‌چکان‌های باقی‌مانده تفاوت قابل‌توجهی بین دبی ماکزیمم و دبی مینیمم وجود دارد.

نتایج نشان داد حساسیت قطره‌چکان‌های مدل T2 و T3 به گرفتگی خیلی بیشتر از قطره‌چکان‌های مدل T1 و T4 است که متأثر از نوع ساختار قطره‌چکان می‌باشد. قطره‌چکان‌های T1 و T4 به‌صورت پلاک داخل لوله ۱۶ میلی‌متر به‌صورت یک جزء جدا از لوله نصب‌شده بودند درصورتی‌که قطره‌چکان‌های T2 و T3 به‌صورت قسمتی از لوله ۱۶ میلی‌متر بودند. همچنین بین قطره‌چکان‌های T1 و T4، قطره‌چکان T1 بهتر از T4 ارزیابی شد

که این تفاوت می‌تواند تحت تأثیر شرکت سازنده یا دبی قطره‌چکان باشد، دبی قطره‌چکان T1 (۳/۵ لیتر بر ساعت) بیشتر از T4 (۲ لیتر بر ساعت) بود. از مقایسه قطره‌چکان‌های T3 و T4 که توسط یک شرکت تولید می‌شوند، می‌توان نتیجه گرفت قطره‌چکان‌های پلاک دار کارایی بهتری در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی دارند. جمع‌بندی نتایج نشان داد کارایی قطره‌چکان در یک سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی تابعی از نوع ساختار قطره‌چکان، دبی قطره‌چکان و تکنولوژی سازنده می‌باشند که در این تحقیق قطره‌چکان‌های پلاک دار مناسب ارزیابی شدند. نتایج با یافته‌های سایر محققان که بیان کردند ساختمان داخلی قطره‌چکان (Barth, 1999) و نوع و دبی قطره‌چکان (Coelho and Faria, 2003) بر گرفتگی قطره‌چکان توسط ریشه مؤثر است، هماهنگی دارد. اگرچه نوع قطره‌چکان عامل بسیار مهمی در کاهش گرفتگی است، نباید رعایت نکته‌های مدیریتی در بهره‌برداری از سیستم‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی شامل تزریق علف‌کش‌ها با رعایت ملاحظات زیست‌محیطی و اعمال دقیق مدیریت آبیاری را ازنظر دور داشت.

تأثیر تیمارها بر رنگ چمن

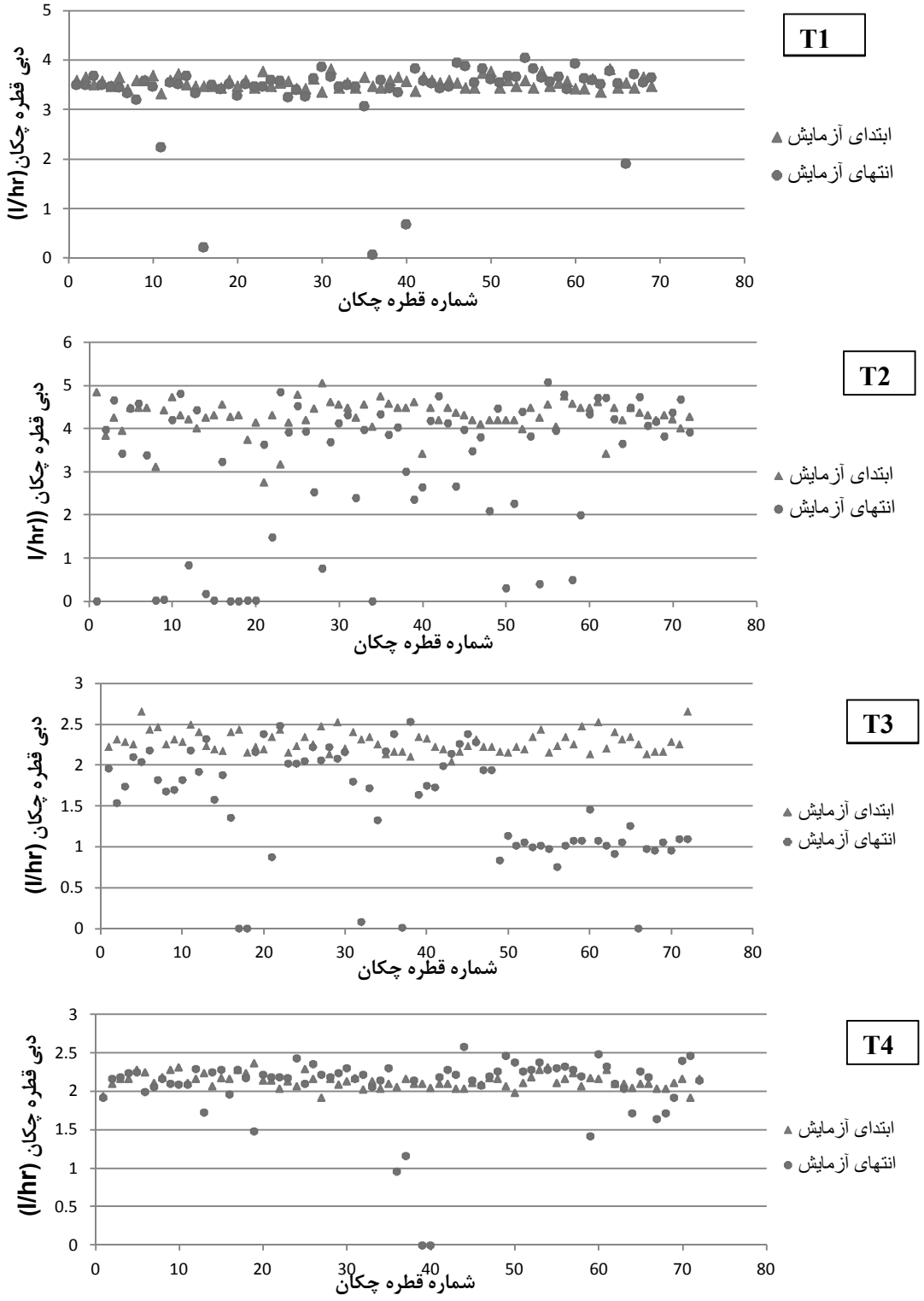
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر نوع قطره‌چکان بر رنگ چمن در مدت اجرای آزمایش معنی‌دار است (جدول ۶). مقایسه میانگین‌ها در کل دوره رشد نشان داد که برای کیفیت رنگ تفاوت معنی‌داری بین قطره‌چکان‌ها (با دبی متفاوت) وجود دارد (جدول ۷). بالاترین کیفیت رنگ در سال اول برای قطره‌چکان با دبی کم و کمترین کیفیت رنگ در قطره‌چکان با دبی بالا مشاهده شد که می‌تواند تحت تأثیر توسعه پیاز رطوبتی باشد؛ زیرا برای قطره‌چکان‌های با دبی کم مدت‌زمان آبیاری افزایش‌یافته، نفوذ عمقی کمتر و فرصت توسعه افقی پیاز رطوبتی بیشتر می‌شود. گسترش افقی و عمودی پیاز رطوبتی تابعی از دبی قطره‌چکان و مدت‌زمان کار سیستم است (Mohamadzade et al., 2015).

در سال اول میانگین کیفیت رنگ‌ها برای قطره‌چکان‌های T1 و T2 کمتر از میانگین کیفیت رنگ در سال دوم بود. قطره‌چکان‌های T1 و T2 دبی بیشتری نسبت به دو قطره‌چکان دیگر داشتند، بنابراین مدت‌زمان آبیاری آن‌ها کوتاه‌تر بوده و با توجه به اینکه در سال اول رشد ریشه چمن به حداکثر رشد خود نرسیده بود، آب دریافتی چمن کمتر بوده و درنتیجه کیفیت ظاهری چمن در سال اول پایین‌تر بود اما در سال دوم با گسترش سیستم ریشه و استقرار کامل کیفیت رنگ افزایش یافت.

جدول ۵. شاخص‌های یکنواختی در قطره‌چکان‌های مختلف در ابتدا و انتهای آزمایش

	تعداد قطره‌چکان	q_{avg} (l/hr)	cv -	Range (%)	q_{var} -	EU (%)	UC (%)	Us (%)
T1								
ابتدای آزمایش	۷۲	۳/۵۵	۰/۰۳	۱۳/۹۴	۱۲/۹۴	۹۶/۲۴	۹۷/۳۶	۹۶/۷۹
انتهای آزمایش	۷۲	۳/۳۷	–	۱۱۸/۳۱	۹۸/۵۲	۷۹/۱	۸۹/۴۹	۷۸/۹۲
انتهای آزمایش با حذف گرفتگی‌ها*	۶۹	۳/۵	–	۶۱/۰۲	۵۲/۸۱	۹۰/۴۵	۹۴/۶۱	۹۱/۱۷
T2								
ابتدای آزمایش	۷۲	۴/۲۷	۰/۱۰	۵۴/۰۷	۴۵/۵۶	۸۶/۷۸	۹۳/۱۷	۸۹/۹۱
انتهای آزمایش	۷۲	۳/۱۵	–	۱۶۱/۱۸	۱۰۰	۱۹/۲۶	۵۶/۷۱	۴۷/۱۴
انتهای آزمایش با حذف گرفتگی‌ها	۵۵	۳/۹۳	–	۷۵/۷۳	۵۸/۶۶	۷۳/۱۲	۸۵/۴۱	۸۱/۳۲
T3								
ابتدای آزمایش	۷۲	۲/۲۷	۰/۰۵	۲۷/۰۲	۲۳/۱۶	۹۳/۹۱	۹۵/۶۱	۹۶/۷۹
انتهای آزمایش	۷۲	۱/۵۴	–	۱۶۴/۸۷	۱۰۰	۴۵/۰۶	۶۳/۸۵	۵۷/۴۲
انتهای آزمایش با حذف گرفتگی‌ها	۴۶	۱/۹۵	–	۷۱/۵۴	۵۴/۹۷	۷۷/۶۵	۸۶/۳۱	۸۳
T4								
ابتدای آزمایش	۷۲	۲/۱۳	۰/۰۵	۲۱/۰۹	۱۸/۹۹	۹۴/۷۷	۹۶/۷۰	۹۶/۷۹
انتهای آزمایش	۷۲	۲/۰۷	–	۱۲۴/۴	۱۰۰	۷۴/۶۵	۸۷/۳۲	۷۸/۳۲
انتهای آزمایش با حذف گرفتگی‌ها	۶۹	۲/۱۵	–	۶۶/۰۴	۵۵/۰۳	۸۵/۰۲	۹۲/۳۶	۸۸/۵۷

* انتهای آزمایش با حذف گرفتگی‌ها: منظور محاسبه شاخص‌ها با حذف قطره‌چکان‌هایی است که دبی آن‌ها کمتر از ۵۰ درصد دبی متوسط اولیه بوده‌اند.



شکل ۲. تغییرات دبی قطره‌چکان‌ها ابتدا و انتهای آزمایش در تیمارهای T1، T2، T3 و T4

قطره‌چکان‌های T3 و T4 با توجه به دبی کمتر، مدت‌زمان آبیاری بیشتری داشتند درنتیجه پیاز رطوبتی گسترده‌تری نسبت به قطره‌چکان‌های T1 و T2 داشتند (Nasiri et al, 2011) و کیفیت بهتری ازلحاظ رنگ برای سال اول و همچنین سال دوم داشتند. اگرچه شماره رنگ تیمارهای مختلف متفاوت بود، اما در تمام تیمارها به‌جز تیمار T2، کیفیت رنگ بالاتر از حد قابل‌قبول برای رنگ چمن (عدد ۶ (Sattari *et al*, 2007)) بود. دلیل کیفیت رنگ پایین در تیمار T2 احتمالاً به دلیل دبی بیشتر قطره‌چکان و نفوذ عمقی آب آبیاری و همچنین یکنواختی پایین این مدل قطره‌چکان می‌باشد، نتایج گرفتگی در اثر نفوذ ریشه نیز دلالت بر ناکارآمدی این نوع قطره‌چکان داشت.

جدول ۶. تجزیه واریانس اثر نوع لوله بر رنگ چمن در سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		رنگ در سال اول	رنگ در سال دوم	رنگ در دوره رشد
بلوک	۲	^{ns}۰/۰۴۵	^{ns}۰/۸۰۳	^{ns}۰/۰۹۴
نوع قطره‌چکان	۳	**۲/۹۲	*۰/۹۵	**۲/۰۵
خطا	۶	۰/۱۱۹	۰/۱۹	۰/۰۸۸

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

جدول ۷. مقایسه میانگین اثر نوع لوله بر رنگ چمن در سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲

عامل		میانگین		
		رنگ در سال اول	رنگ در سال دوم	رنگ در دوره رشد
قطره‌چکان	T1	^{b}۶/۴	^{a}۷/۲	^{b}۶/۶
	T2	^{c}۵/۶	^{b}۶/۲	^{c}۵/۸
	T3	^{a}۷/۷	^{ab}۶/۷	^{a}۷/۴
	T4	^{a}۷/۶	^{a}۷/۵	^{a}۷/۶

میانگین‌های با حرف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌داری باهم ندارند (۵٪ LSD)

نتیجه‌گیری

صرف‌نظر از شرکت سازنده، نوع قطره‌چکان در میزان گرفتگی توسط ریشه در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی مؤثر است. قطره‌چکان‌های داخل خط که به‌صورت پلاک داخل لوله نصب می‌شوند در مقایسه با قطره‌چکان‌هایی که داخل خط بوده اما به‌صورت استوانه‌ای داخل جدار لوله تعبیه می‌شوند برای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی مطلوب‌تر هستند. در شرایطی که هیچ نوع مدیریت شیمیایی برای ممانعت از گرفتگی قطره‌چکان توسط ریشه چمن میکس اسپرت انجام نشود، برای قطره‌چکان‌های پلاک دار مورد آزمایش ۴ درصد و برای قطره‌چکان ساخت داخل استوانه‌ای ۳۶ درصد گرفتگی کامل مشاهده شد. این موضوع نقش نوع تکنولوژی قطره‌چکان و اهمیت کیفیت ساخت قطره‌چکان برای جلوگیری از گرفتگی قطره‌چکان توسط ریشه در سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی را بیان می‌کند. همچنین قطره‌چکان‌هایی که در ابتدای آزمایش شاخص یکنواختی بالاتر و دبی بیشتری داشتند در طول آزمایش درصد گرفتگی آن‌ها کمتر بود. همچنین مشاهده شد که نوع قطره‌چکان و دبی آن اثر معنی‌داری بر کیفیت رنگ چمن داشتند. به‌طوری‌که در کل دوره رشد قطره‌چکان با دبی کمتر و یکنواختی بیشتر بالاترین مقدار کیفیت رنگ را داشت. توصیه می‌شود قبل از اجرای طرح آبیاری زیرسطحی، آزمایش‌های میدانی به‌صورت پایلوت برای خاک محل نصب سیستم آبیاری، کیفیت آب، نوع گیاه و قطره‌چکان انتخاب‌شده (دبی و نوع) انجام شود.

REFERENCES

Abdi, Q. (2003). Subsurface irrigation: a situation analysis. *Institute of Sustainable Irrigated Agriculture (ISIA*) at Tatura, Australia for (IPTRID).

Adin, A. and Sacks, M. (1991). Dripper clogging factors in wastewater irrigation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 117(6), 813-826.

ASAE EP405.1. (2003). ASAE Engineering Practice EP405.1, FEB03, *Design and Installation of Microirrigation Systems*. ASAE, St. Joseph, Michigan, pp. 901-905.

Ascough, G. W. and Kiker, G. A. (2002). The effect of irrigation uniformity on irrigation water Requirements. *Water SA*, 28(2), 235-242

Ayars, J. E., Phene, C.J., Hutmacher, R. B., Davis, K. R., Schoneman, R. A., Vail, S. S. and Mead, R. M. (1999). Subsurface drip irrigation of row crops: A review of 15 years of research at the Water Management Research Laboratory. *Agricultural Water Management*, 42(1),1-27.

Barth, H. K. (1999). Sustainable and effective irrigation through a new subsoil irrigation system. *Agricultural Water Management.* 40(2), 283-290.

Bui, W. (1990). Performance of Turbo Model drip irrigation tubes. In: Proceedings of *Third International Irrigation Symposium*, 28 Nov., Phoenix, Arizona, ASAE, pp. 198-203.

Camp, C. R., Sadler, E. J. and Busscher, W. J. (1997). A comparison of uniformity measures for drip irrigation systems. Trans. *American Society of Agricultural Engineers*, 40(4), 1013-1020.

Camp, C. R. (1998). Subsurface drip irrigation: A

review. Trans. *American Society of Agricultural Engineers*, 41(5), 1353-1367.

Camp, C. R., Lamm, F.R., Evans, R.G. and Phene, C.J. (2000). Subsurface drip irrigation past, present and future. In: Proceedings of the *4th Decennial National Irrigation Symposium*, 14–16 November, Phoenix, Ariz, pp. 363–372.

Capra, A. and Scicolone, B. (1998). Water quality and distribution uniformity in drip/trickle irrigation systems. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 70(4), 355-365.

Christiansen, J. E. (1941). The uniformity of application of water by sprinkler systems. *Agricultural Engineering*, 22(3), 89-92.

Coelho, R. D. and Faria, L. F. (2003). Comparing drippers for root intrusion in subsurface drip irrigation applied to citrus and coffee crops.In: Presented at *the Annual International Meetingof the ASAE*, Las Vegas, Nevada, Jul. pp. 27-30.

Dastorani, M. T., Sadeghzadeh, M. A. and Heshmati, M. (2008). Evaluation of the efficiency of Subsurface irrigation in pistachio yield and growth. *Agricultural Science and Technology*. 22, 35-47.

Gilbert, R. G., Nakayama, F. S. and Bucks, D. A. (1979). Trickle irrigation: prevention of clogging. *Transaction of ASAE*, 22(3), 514-519. (In Farsi)

Hanson, B., Schwankl, L., Grattan, S. R. and Prichard, T. (1997). Drip irrigation for row crops. *Department Land, Air and Water Research*. University of California, Davis. 238 pp.

Hills, D. J., Nawar, F. M. and Waller, P. M. (1989). Effects of chemical clogging on drip tape irrigation uniformity. *Transaction of ASAE*, 32(4),1202-1206.

Jiang, S. and Kang, Y. (2010). Evaluation of microirrigation uniformity on laterals considering field slope. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 136(6), 429-434.

Keller, J. and Karmeli, D. (1974). Trickle irrigation design parameters. *Transactions of the ASAE*, 17(4), 678-684.

Keller, J. and Bliesner, R. D. (1990). Sprinkler and Trickle Irrigation. *Published by Van Nostrand Reinhold*, New York. pp. 643.

Lamm, F. R. and Camp, C. R. (2007). Chapter 13: Subsurface drip irrigation. In Microirrigation for Crop Production: Design, Operation, and Management. *Elsevier Publications*, pp. 473-551.

Mohamadzade, F., Gheysari, M. Landi, E. (2015). Development and Evaluation of Estimation Models of Wetting Pattern of Drippers in a Sandy Soil with High Gravel. *Journal of water and soil science*, 19 (71), 287-297. (In Farsi)

Najafi, P. (2006). Effect of using sub-surface drip irrigation to increasing WUE in irrigation of some crops. *Pajouhesh and Sazandegi*, 73(0), 156-162. (In Farsi)

Nakayama, F. S. and Bucks, D. A. (1991). Water quality in drip/trickle irrigation: a review. *Irrigation Science*, 12(4), 187-192.

Nasiri, Sh., Neshat, A., Kahnoji, M. (2011). Determine the empirical equation to estimate the average size of wetting under drip irrigation in the sandy soil (case study developed a vertical plain, Kerman). *Journal of Water Resources Engineering.* 1(0), 87-98. (In Farsi)

Sadeghi, S. H. and Peters, T. 2012. Analytical determination of distribution uniformity for micro-irrigation tapered laterals laid on uphill and horizontal slopes. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE, 139(6), 483–489.

Sattari, M., Razmjo, kh., Najafi, P. and Etemadi, N. (2007). Effect of soil composition and irrigation regimes on the growth and quality of sports turf. *Journal of Research in Agricultural*. 1(0), 45-56. (In Farsi)

Solomon, K. (1979). Manufacturing variation of trickle emitters. *Transactions of the ASAE*, 22(5),1034-1038.

Solomon, K. H. and Jorgensen, G. (1993). Subsurface drip irrigation. *The Center for Irrigation Technology*, California State University, USA.

Suarez Rey, E., Choi, C. Y., Waller, P. M. and Kopec, D. M. (2000). Comparison of subsurface drip irrigation and sprinkler irrigation for bermuda grass in Arizona. *Transactions of the ASAE*, 43(3),631-640.

Zarei, Gh., Nakhjavani-moghada, M. and Zolfagharian, A. (2006). Investigation the causes of dripper's obstruction in Iran's climate. *Micro irrigation Workshop*, Tehran Iran.

Zoldoske, D. (1999). Root intrusion prevention. *Irrigation Journal*, 49(4),14-15.