

## مقاله پژوهشی

### بررسی تاثیر گسیلنده‌های کنترل کننده حجم آب بر روی وضعیت

### یکنواختی توزیع آب در سیستم خرد آبیاری

سعید زمانی<sup>۱</sup>، جواد بهمنش<sup>۲\*</sup>، کامران زینال زاده<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۹۶/۹/۱۹ تاریخ پذیرش: ۹۸/۱/۲۸

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشگاه ارومیه

۲- استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه

۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه

\*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: j.behmanesh@urmia.ac.ir

### چکیده

عملکرد گسیلنده‌های موجود در سیستم‌های خرد آبیاری بر اساس استهلاک فشار بوده و عدم کارایی آنها در تنظیم فشار و آبدهی یکنواخت توسط محققان گزارش شده است. در این پژوهش، با هدف ارتقای کارایی گسیلنده‌ها در سیستم خرد آبیاری، گسیلنده‌های جدیدی به نام گسیلنده کنترل کننده حجم آب، طراحی و مورد ارزیابی قرار گرفت. ۱۰۰ عدد گسیلنده در شرایط مزرعه در یک سیستم خرد آبیاری نصب و حجم آب خروجی تا زمان قطع جریان اندازه‌گیری شد. آزمایش‌ها در پنج فشار شامل ۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲ و ۲/۵ اتمسفر با سه تکرار انجام و در هر تکرار زمان قطع جریان گسیلنده‌ها در پنج موقعیت شامل ابتدا، یک سوم، وسط، دو سوم و انتهای لوله لترال اندازه‌گیری شد. در نهایت، نتایج به دست آمده براساس استاندارد ASAE ارزیابی گردید. در آزمایش‌های میدانی بیشینه مقدار ضریب تغییرات برابر ۳/۳ درصد در فشار ۰/۵ اتمسفر (فشار حداقل) به دست آمد. بنابراین عملکرد سیستم در تمام فشارها در رده عالی ارزیابی گردید. همچنین حداقل ضرایب یکنواختی توزیع (۹۷٪/۶) و یکنواختی پخش (۹۱٪) نیز در فشار حداقل ۰/۵ اتمسفر حاصل شدند که مقادیر بسیار مطلوبی می‌باشند. در تمامی روابط دبی-فشار، نمای دبی تقریباً برابر ۰/۵۵ برآورد گردید. نوع جریان در گسیلنده‌ها آشفته بود. عملکرد مطلوب گسیلنده مذکور در ایجاد یکنواختی توزیع آب موید این مطلب است که تغییر نگرش در مورد مکانیسم کار گسیلنده‌ها و توسعه گسیلنده‌های جدید با مکانیسم کارآمد می‌تواند کارایی سیستم های خرد آبیاری را ارتقاء دهد.

واژه‌های کلیدی: خرد آبیاری، ارزیابی، شیرکنترل، گسیلنده، یکنواختی

## Investigating the Effect of Water Volume Control Emitters on Water Distribution Uniformity of the Micro-irrigation System

S Zamani<sup>1</sup>, J Behmanesh<sup>\*2</sup>, K Zeinalzadeh<sup>3</sup>

Received: December 10, 2017 Accepted: April 17, 2019

<sup>1</sup>M.Sc. of Water Eng., University of Urmia, Urmia, Iran

<sup>2\*</sup>Prof., Dept., of Water Eng., University of Urmia, Urmia, Iran

<sup>3</sup> Assoc. Prof., Dept., of Water Eng., University of Urmia, Urmia, Iran

\* Corresponding Author, Email: j.behmanesh@urmia.ac.ir

### Abstract

The performance of the existence emitters in micro-irrigation systems is on the basis of pressure dissipation and the inefficiencies of these systems in the pressure and discharge uniformity regulations have been reported by researchers. In this research, in order to improve emitters' efficiency in micro-irrigation systems, a new emitter named water volume control emitters was designed and evaluated. One hundred emitters were installed in the field condition on a micro-irrigation system and the applied water volume was measured until cutoff time. The experiments in pressures of 0.5, 1, 1.5, 2 and 2.5bar with three repetitions were conducted. In each repetition, the cutoff time of the emitter located in five positions at the first, third, mid, two-thirds and end parts of the lateral pipe were measured. Finally, the obtained results were evaluated on the basis of ASAE standards. In the field experiments, the maximum value of variation coefficient was obtained 3.3% in the pressure of 0.5bar (minimum pressure). Therefore, the system performance was evaluated in the excellent category in the all applied pressures. Also, the minimum coefficients of distribution uniformity (97.6%) and emission uniformity (91%) were obtained in the minimum pressure of 0.5bar so that these values were very favorable. In all of the pressure-discharge equations, the discharge exponent values were approximately estimated 0.55. The type of flow in emitters was turbulent. The appropriate performance of the mentioned emitters in creating a favorable water distribution uniformity showed that the change of view about emitters' operational mechanism and the developing new emitters with efficient mechanism can improve the efficiency of micro irrigation systems.

**Keywords:** Control valve, Emitter, Evaluation, Micro irrigation, Uniformity

### مقدمه

استوار بوده و باتوجه به تغییر فشار در لوله‌های توزیع آب به دلیل پستی و بلندی زمین و یا افت اصطکاک و دلایل دیگری که در سیستم هیدرولیکی شبکه اتفاق می‌افتد، طراحی گسیلنده‌ها باید به نحوی باشد که مقدار دبی خروجی از آن در برابر تغییرات فشار نسبتاً ثابت باقی بماند (علیزاده ۱۳۸۸). در این راستا تولیدکنندگان زیادی نمونه‌های مختلفی از گسیلنده‌ها را بمنظور کاهش تغییرات آبدهی ناشی از تغییر فشار تولید نمودند که این

روش خرد آبیاری به لحاظ پتانسیل ایده‌آل در توزیع آب با راندمان بالا یک راه‌حل مناسب جهت استفاده بهینه از منابع آب می‌باشد (علیزاده ۱۳۸۳). از طرفی، گسیلنده مهمترین بخش این سیستم بوده و لذا کیفیت آن مهمترین عامل موثر در بالارفتن کارایی سیستم خرد آبیاری محسوب می‌شود. در حالت ایده‌آل، کلیه گسیلنده‌ها در سیستم خرد آبیاری می‌بایست آبدهی کاملاً یکسان گیاه داشته باشند (علیزاده ۱۳۸۸). بطور کلی اساس ساختمانی کلیه گسیلنده‌هایی که تاکنون ساخته شده‌اند، بر مبنای از بین بردن انرژی

آبیاری است. کنترل‌کننده‌ها تقریباً در همه رشته‌های مهندسی با موفقیت زیاد استفاده می‌شوند. با این حال، این کنترل‌کننده‌ها استفاده محدودی در کشاورزی و بویژه در آبیاری دقیق دارند (رومرو و همکاران ۲۰۱۲). چاپمن و لیبیک (۱۹۳۸) اولین پژوهش در ارتباط با گسیلنده آبیاری خودکار را بر مبنای سیستمی مبتنی بر تعادل هیدرولیکی در هوای بالارونده انجام دادند. سال‌ها بعد بر روی شیرهای سلونیدی از سنسورهای سفارشی جهت تشخیص مقدار کمبود آب خاک استفاده گردید (رومرو و همکاران ۲۰۱۲). در دهه گذشته بسیاری از مقالات در ارتباط با کنترل‌های آبیاری خودکار بر اساس تنظیم مقدار آب خاک (SWC)<sup>۱</sup> و تنش آبی در خاک (SWT)<sup>۲</sup> با استراتژی خاموش و روشن شدن سیستم آبیاری بر اساس بازخوردهای دریافت شده از سنسورهای نصب شده در خاک، تمرکز نموده‌اند (رومرو و همکاران ۲۰۱۲). داسنایاک و همکاران (۲۰۰۹) پیرو تحقیقی که در دوکی مصر انجام داده بودند گزارش کردند که اجرای سیستم آبیاری هوشمند موجب شده که بیش از ۳۸ درصد نسبت به سیستم معمولی در مصرف آب صرفه‌جویی شود. الغباری و همکاران (۲۰۱۳) نیز تاثیر سیستم آبیاری هوشمند اتوماتیک را بر روی راندمان مصرف آب در عملکرد گندم در اراضی خشک بررسی کردند و اظهار داشتند که سیستم مورد استفاده آنها توانسته ۲۶ درصد نسبت به قبل مصرف آب را کاهش دهد. منصور و همکاران (۲۰۱۴) جهت بررسی تاثیر کم‌آبیاری بر روی عملکرد باقالا از سیستم آبیاری قطره‌ای خودکار مجهز به سنسورهای رطوبتی و دمایی استفاده و گزارش دادند که در سیستم مذکور، مقدار متوسط یکنواختی پخش ۹۰/۴۴ درصد بوده است.

اما در ایران کشاورزان به سبب تمایل به سرمایه‌گذاری کمتر، عموماً سیستم‌های غیرخودکار یا

گسیلنده‌ها معمولاً حساس به گرفتگی بوده و هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه و بهره‌برداری زیادی به سیستم تحمیل می‌کنند (کشتگر ۲۰۱۲).

کاپرا و سیکولونه (۱۹۹۸) نشان دادند که فاکتور اصلی در تغییرات دبی قطره‌چکان، نوع قطره‌چکان و مواد مورد استفاده در ساخت آن است. هزارجریبی و همکاران (۲۰۰۸) عملکرد ۶ نوع قطره‌چکان شامل Mono-Matic و Katif 8, Katif4, Inline168, Hydrogol, tandem در فشارکار ۵۰ تا ۲۰۰ کیلوپاسکال را بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که پنج نمونه اول دارای یکنواختی توزیع آب خوب بوده ولی قطره‌چکان نوع Matic توانایی توزیع یکنواخت آب در دامنه فشار مذکور را ندارد. ایشان اظهار کردند که دبی خروجی قطره‌چکان‌های مورد استفاده متأثر از فشار کارکرد بوده و بجای استفاده از اطلاعات مندرج در کاتالوگ تولیدکنندگان قطره‌چکان‌ها، در طراحی سیستم آبیاری قطره‌ای باید از نتایج واقعی آزمایشگاهی بهره جست.

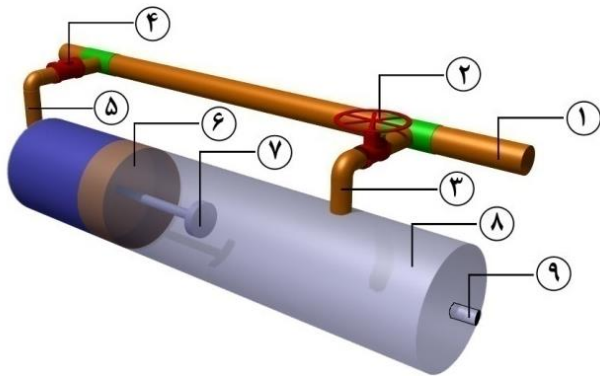
در پژوهشی دیگر مانیشا و همکاران (۲۰۱۵) دبی اسمی و ضریب تغییرات ساخت ۴ نمونه قطره‌چکان داخل خط ساخت ترکیه را در پنج فشارکار ۲۰۰، ۱۵۰، ۱۰۰، ۵۰ و ۲۵۰ کیلوپاسکال بررسی کردند. برای این کار از ۹ خط لوله شامل ۷ خط با قطره چکان غیرتنظیم کننده دبی و ۲ خط با قطره چکان تنظیم کننده دبی استفاده نمودند و دریافتند که مقادیر CV فقط در یکی از ۷ خط لوله دارای قطره‌چکان غیر تنظیم کننده دبی و ۲ خط با قطره‌چکان تنظیم کننده دبی با مشخصات اظهار شده توسط کارخانه تطابق داشته است. پژوهش‌های مشابه دیگری نیز در زمینه ارزیابی عملکرد گسیلنده‌ها انجام شد که در آنها، عدم کارایی برخی گسیلنده‌ها گزارش شده است (اکرام نیا ۱۳۷۵، حوری ۱۳۷۶، هزارجریبی و همکاران ۱۳۹۲، قربانی و شهبازیان‌فرد ۱۳۹۶).

از سوی دیگر یک رویکرد منطقی برای بهینه‌سازی آبیاری، استفاده از کنترل‌کننده‌های خودکار

1 . Soil water content

2 . Soil water tension

لوله جریان خروجی برای آبیاری، ۴: تنظیم‌کننده نسبت دبی‌ها، ۵: لوله جریان کنترل، ۶: پیستون، ۷: دستک قطع جریان خروجی، ۸: محفظه کنترل، و ۹: خروجی آب به سمت درخت را نشان می‌دهند.



شکل ۱- نمای کلی گسیلنده کنترل کننده حجم آب.

بر مبنای طرح اولیه، چنانچه دبی بخش کنترل  $Q_c$  و دبی خروجی گسیلنده  $Q_o$  باشد می‌توان نوشت (زمانی ۱۳۹۲):

$$\frac{Q_c}{Q_o} = 0.0005 \quad [1]$$

با توجه به تعریف دبی و یکسان بودن زمان در دو مسیر خروجی و کنترل، می‌توان رابطه ۱ را به شکل رابطه ۲ نوشت:

$$\frac{V_c}{V_o} = 0.0005 \quad [2]$$

که در آن،  $V_c$ ، حجم محفظه کنترل و  $V_o$ ، حجم آب خروجی است. با توجه به رابطه ۲، نسبت حجم محفظه کنترل به حجم آب خروجی از گسیلنده برابر  $0.0005$  لحاظ گردید. با توجه به ثابت بودن حجم محفظه کنترل گسیلنده (۵۰ میلی‌لیتر)، با جایگذاری مقدار حجم کنترل در رابطه ۲، حجم خروجی برابر ۱۰۰ لیتر برآورد می‌شود. توضیح اینکه حجم ۱۰۰ لیتر آب خروجی که به آن، حجم اسمی اطلاق می‌شود، با توجه به حجم معمول آب مورد نیاز درختان و امکان بهره‌گیری از آن با تعداد مناسب برای هر درخت تعیین شده است. علاوه بر آن، این گسیلنده نمونه اولیه از این نوع گسیلنده‌ها بوده و به راحتی می‌توان با تغییر حجم محفظه کنترل و

نیمه‌خودکار را در آبیاری ترجیح می‌دهند (دهقانی سانج و اکبری ۱۳۸۶). با توجه به تشدید بحران آب در سال‌های اخیر، تحویل حجمی و کنترل شده آب در بخش کشاورزی مورد توجه بسیاری از پژوهشگران بوده است. هدف اساسی این تحقیق، ارائه روش جدید در تحویل حجمی آب با بالاترین میزان یکنواختی توزیع آب در مزرعه می‌باشد. در پژوهش حاضر، نسل جدیدی از گسیلنده‌ها که دارای مکانیسم کار متفاوتی نسبت به سایر گسیلنده‌ها است ابداع شده و توانایی آنها در کنترل و قطع جریان آب در حجم معین و افزایش یکنواختی توزیع آب در سیستم خرد آبیاری مورد ارزیابی قرار گرفته است.

### مواد و روش‌ها

با تغییر نگرش در مکانیسم کار گسیلنده‌ها، نسل جدیدی از گسیلنده‌ها ابداع شد که در آن، بجای تقابل با فشار مازاد سیستم، از فشار موجود بعنوان نیروی محرکه قسمت کنترل استفاده می‌شود. این گسیلنده با اندازه‌گیری حجم آب خروجی، در حجم مشخص، جریان خروجی را قطع می‌کند و در نتیجه حجم آب یکسانی از آن خارج می‌گردد. مکانیسم کارکرد گسیلنده کنترل کننده حجم آب بر مبنای استفاده از دو جریان موازی، شامل جریان خروجی گسیلنده برای مصرف درخت و جریان قسمت کنترل برای تنظیم و قطع جریان خروجی، استوار گردیده است. در این گسیلنده از طریق یک انشعاب از لوله آبد، دو جریان موازی به نحوی در دو لوله خروجی و لوله کنترل برقرار می‌گردد که در کلیه فشارها، نسبت دبی جریان کنترل به دبی جریان خروجی ثابت و برابر  $0.0005$  باشد. برای این منظور از یک تنظیم‌کننده در قسمت کنترل که با بهره‌مندی از یک مکانیسم مکانیکی مقدار نسبت دبی‌ها را در فشارهای مختلف ثابت نگه می‌دارد، استفاده گردید. شکل ۱ نمای کلی گسیلنده مذکور است که در آن عدهای ۱: انشعاب از لوله آبد، ۲: شیر قطع و وصل جریان خروجی، ۳:

- فشار کار آزمایش در طول آزمایش ثابت بود بطوریکه در حین آزمون، تغییرات فشار کمتر از ۲ درصد بود.
  - فشار آب با خطای بیشینه یک درصد مقدار واقعی، اندازه گیری شد.
  - میزان جریان با خطای بیشینه  $\pm 5\%$  درصد میزان جریان اسمی، اندازه‌گیری شد.
- پس از اتمام آزمایش‌های مقدماتی در فشارهای مختلف و نهایی شدن مشخصات فنی گسیلنده، آزمایش‌های مرحله تکمیلی آغاز گردید. در این مرحله پنج نمونه مشابه از گسیلنده کنترل کننده حجم آب با مشخصات کالیبره شده ساخته شد و هر یک در فشارهای اعلام شده و با شرایطی مطابق با شرایط ذکر شده در مرحله قبلی مورد آزمایش قرار گرفتند. در نهایت نتایج عملکرد گسیلنده‌ها شامل حجم آب خروجی و زمان قطع جریان با سه مرتبه تکرار اندازه‌گیری و ثبت گردید و ۹۰ سری داده (تکرار  $\times 3$  فشار  $\times 6$  گسیلنده  $\times 5$ ) از آزمایش‌های مذکور به دست آمد.
- در مرحله نهایی پژوهش، عملکرد گسیلنده در شرایط واقعی مزرعه در یک سیستم خرد آبیاری مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور در یک زمین به مساحت ۸۰۰ مترمربع واقع در شهر اصفهان به طول جغرافیایی  $51^{\circ} 30'$  و عرض جغرافیایی  $29^{\circ} 49' 32''$ ، یک زیر واحد آبیاری مطابق شکل ۲ بطور آزمایشی احداث گردید و عملکرد گسیلنده کنترل کننده حجم آب بر اساس استاندارد انجمن مهندسان کشاورزی امریکا (بی‌نام ۲۰۰۳) مورد بررسی قرار گرفت. در شکل ۲، عددهای ۱: گسیلنده، ۲: لترال به قطر ۱۶ میلی‌متر، ۳: مانیفولد به قطر ۶۳ میلی‌متر و ۴: اتصال به شبکه موجود را نشان می‌دهد. زمین اجرای طرح کاملاً مسطح و بدون شیب بود. آب مورد استفاده در آزمایش از یک حلقه چاه که مطابق اندازه‌گیری‌های انجام شده، دارای بار آلاینده ۱۵ میلی‌گرم در لیتر (در محدوده مطلوب استاندارد آب کشاورزی) و در محدوده دمایی توصیه

سایر اجزای آن، نمونه‌های دیگری از گسیلنده با حجم خروجی مختلف را طراحی و تولید نمود. بطور خلاصه عملکرد گسیلنده بدین صورت است که با برقراری جریان‌ها در دو مجرای کنترل و خروجی، پیستون موجود در محفظه کنترل به آرامی به سمت خروجی شروع به حرکت نموده و به محض رسیدن به مدخل آب در محفظه کنترل، مجرای عبور جریان مسدود شده و جریان خروجی قطع می‌گردد. در چنین شرایطی دستک انتهایی از حرکت پیستون جلوگیری کرده و در نتیجه جریان قسمت کنترل نیز قطع شده و عملکرد گسیلنده پایان می‌یابد (زمانی ۱۳۹۲).

بمنظور بررسی نحوه عملکرد گسیلنده، نمونه اولیه گسیلنده کنترل کننده حجم آب بر مبنای طرح و محاسبات قبلی ساخته شد و آزمایش‌های اولیه بر روی آن آغاز گردید. جهت انجام این آزمایش‌ها، از یک دستگاه الکتروپمپ تک‌فاز با توان ۰/۷۵ کیلووات و دور موتور ۲۸۰۰ دور در دقیقه ساخت کارخانه Pentax که به یک منبع ذخیره به حجم ۵۰۰۰ لیتر متصل شده بود استفاده گردید.

آزمایش‌ها در دو مقطع مقدماتی و تکمیلی انجام گرفت. در آزمایش‌های مقدماتی، عملکرد گسیلنده در محدوده فشارهای معمول در سیستم‌های خرد آبیاری و معادل ۰/۵، ۱، ۲، ۲/۵، ۳ و ۴ اتمسفر مورد آزمایش و بررسی قرار گرفته و حجم آب خروجی و زمان قطع جریان اندازه‌گیری گردید. در این تحقیق، عملکرد گسیلنده‌ها با مقایسه حجم آب خروجی و حجم آب اسمی (۱۰۰ لیتر) ارزیابی گردید. شرایط آزمایش‌ها بر مبنای شرایط و ضوابط مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران بشرح زیر مهیا گردید (موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران ۱۳۸۵):

- آزمایش‌ها در دمای هوای محیط و دمای آب  $23 \pm 3$  درجه سلسیوس انجام شد.
- بار آلاینده‌های آب از ۲۵ میلی‌گرم در لیتر کمتر بود و از آب تصفیه شده استفاده گردید.

لترال و آخرین گسیلنده به فاصله ۱ متر از انتهای آن قرار گرفت. عملکرد گسیلنده در فشارهای ۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲ و ۲/۵ اتمسفر مورد آزمایش قرار گرفت و جهت اندازه‌گیری آبدهی گسیلنده‌ها نیز در پنج موقعیت ابتدا، یک سوم اول، وسط، یک سوم انتها و انتهای لوله لترال چاله‌های مناسبی حفر شده و ظروف اندازه‌گیری داخل این چاله‌ها قرار داده شد و میزان حجم آب خروجی تا زمان قطع جریان و همچنین مدت زمان قطع جریان در موقعیت‌های مذکور با سه مرتبه تکرار اندازه‌گیری و ثبت گردید.

کلر و کارملی (۱۹۷۴) برای پیش بینی وضعیت تغییرات دبی قطره‌چکان ناشی از تغییرهای فشار در سیستم آبیاری قطره‌ای رابطه‌ی ۳ را ارائه نمودند:

$$q = k_d \times h^x \quad [3]$$

که در رابطه ۳،  $q$  دبی قطره‌چکان،  $k_d$  ضریب ثابت قطره‌چکان،  $h$  بار فشاری قطره‌چکان و  $x$  نمای فشار می‌باشد. برای به دست آوردن  $x$  و  $h$  می‌توان در دو فشار  $h_1$  و  $h_2$  مقادیر دبی مربوطه  $q_1$  و  $q_2$  را اندازه‌گیری و با استفاده از رابطه رگرسیون خطی لگاریتم دبی و فشار، مقادیر آنها را به دست آورد:

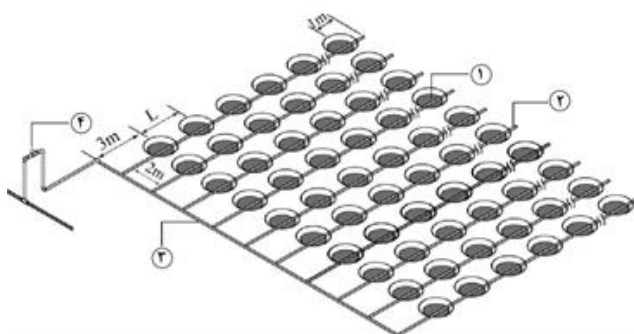
$$\text{Log}(q_1) = x \log(h_1) + \log(k_d) \quad [4]$$

$$\text{Log}(q_2) = x \log(h_2) + \log(k_d) \quad [5]$$

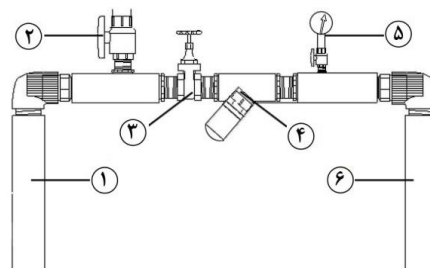
$$x = \frac{\log\left(\frac{q_1}{q_2}\right)}{\log\left(\frac{h_1}{h_2}\right)} \quad [6]$$

مقدار  $x$  از رابطه ۶ قابل محاسبه است. در نهایت می‌توان با جایگذاری مقدار  $x$  در هر یک از معادلات ۴ یا ۵، مقدار  $k_d$  را محاسبه نمود. مقدار  $x$  برای جریان آشفته معادل ۰/۵، برای جریان نیمه‌آشفته در گسیلنده‌های معوج مسیر ۰/۷ <  $x$  < ۰/۵، برای جریان ناپایدار ۱ <  $x$  < ۰/۷، و برای جریان آرام  $x=1$  می‌باشد. در گسیلنده با روزنه ثابت جریان کاملاً آشفته است لذا  $x=0/5$  می‌باشد و

شده قرار داشت، تامین گردید. علیرغم کیفیت مطلوب آب، یک فیلتر دیسکی ۲ اینچی نیز در محل آبیاری نصب شد و مطابق شکل ۳ جهت تنظیم فشار آزمایش، با نصب یک لوله کنار گذر<sup>۲</sup> در محل انشعاب از شبکه، فشار به میزان مطلوب تنظیم و جریان آب به مانیفولد برقرار شد. در شکل ۳، عددهای ۱: لوله اتصال به شبکه موجود، ۲: شیرفلکه و لوله کنارگذر ۱ اینچ، ۳: شیر قطع و وصل ۲ اینچ، ۴: فیلتر دیسکی ۲ اینچ، ۵: فشارسنج، و ۶: لوله اتصال به زیر واحد آبیاری را نشان می‌دهد. در زیر واحد اجراء شده، یک خط لوله پلی اتیلن به قطر ۶۳ میلی‌متر و به طول ۲۰ متر، به منزله مانیفولد، و ده خط لوله پلی اتیلن به قطر ۱۶ میلی‌متر و به طول ۴۰ متر، به منزله لترال، نصب گردید و گسیلنده‌ها با فواصل ۴ متری روی لترال‌ها نصب شدند.



شکل ۲- نقشه شماتیک از آرایش لوله‌ها و سیستم اجراء شده جهت آزمون گسیلنده‌ها.



شکل ۳- جزئیات شیرها و اتصالات در محل آبیاری از شبکه.

به منظور جلوگیری از تأثیر تغییرات جریان بر عملکرد گسیلنده‌ها اولین گسیلنده به فاصله ۳ متر از ابتدای لوله

ضریب یکنواختی به عوامل مختلفی از جمله شرایط کمی و کیفی آب و محدودیت‌های محیط زیستی (منظور شرایطی است که ممکن است آبیاری باعث آلودگی آبهای زیرزمینی گردد) بستگی دارد. بطوریکه بازه پیشنهادی برای ضریب یکنواختی در شرایط آب فراوان و بدون محدودیت زیستی ۷۵-۸۵ درصد، در شرایط آب فراوان و با محدودیت زیستی ۹۰-۸۰ درصد، در شرایط آب کم و بدون محدودیت زیستی ۹۰-۸۰ درصد و در شرایط آب کم و با محدودیت زیستی ۹۵-۸۵ درصد اعلام شده است (علیزاده ۱۳۸۸).

اولین فرمول یکنواختی پخش که بیش از ۳۰ سال یک فرمول محبوب در طراحی است و با استفاده از CV و تغییرات دبی ناشی از تغییرات فشار در قطره‌چکان‌ها به دست می‌آید مطابق رابطه ۱۱ ارائه شده است (براکان و همکاران ۲۰۰۵):

$$EU_{(h,m)} = \frac{q_{lq(h,m)}}{q_{(h,m)}} = (1 - 1.27 \frac{CV}{\sqrt{n}}) \left( \frac{q_{min(h)}}{q_{(h)}} \right) \quad [11]$$

در رابطه ۱۱،  $EU_{(h,m)}$  یکنواختی پخش ناشی از تغییرات هیدرولیکی و ساخت،  $q_{lq(h,m)}$  متوسط چارک پایین دبی گسیلنده‌ها،  $q_{(h,m)}$  متوسط دبی گسیلنده‌ها ناشی از تغییرات هیدرولیکی و کارخانه‌ای،  $N$  تعداد گسیلنده‌ها،  $q_{min(h)}$  کمینه و  $q_{(h)}$  متوسط دبی قطره‌چکان در طراحی هیدرولیکی می‌باشد. مقادیر  $EU_{(h,m)}$  نیز بر مبنای استاندارد انجمن مهندسان کشاورزی امریکا (بی‌نام ۲۰۰۳) ارزیابی می‌شوند.

### نتایج و بحث

جدول ۱ نتایج اندازه‌گیری‌های انجام شده مربوط به آبدی در بخش‌های کنترل و خروجی گسیلنده و نسبت آنها در مرحله مقدماتی آزمایش‌ها را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌گردد حجم آب خروجی در همه فشارها نزدیک به حجم موردنظر (یعنی ۱۰۰ لیتر) است بطوریکه مقادیر کمینه و بیشینه آن برابر ۹۹ و ۱۰۱/۵ به دست آمده است.

برای گسیلنده بلندمسیر  $1 \leq x < 0.5$  و برای گسیلنده کنترل کننده فشار  $0.5 < x \leq 0$  است (ASAE 2003). یکی دیگر از روش‌های بررسی تغییرات دبی، مقایسه بیشینه و کمینه دبی قطره‌چکان می‌باشد. اختلاف بیشینه و کمینه دبی قطره‌چکان بعنوان تغییرات هیدرولیکی برای طراحی هیدرولیکی به کار می‌رود که به صورت رابطه ۷ توصیف می‌گردد:

$$q_{var} = 100 \left( 1 - \frac{q_{min}}{q_{max}} \right) \quad [7]$$

در رابطه ۷،  $q_{var}$  تغییرات دبی در قطره‌چکان‌ها (درصد)،  $q_{min}$  کمینه دبی و  $q_{max}$  بیشینه دبی قطره‌چکان است. با استفاده از رابطه ۸ ضریب تغییرات ساخت گسیلنده محاسبه می‌شود (علیزاده ۱۳۸۸).

$$Cv = S_d / q_{avg} \quad [8]$$

$$S_d = \left[ \frac{\sum (q_i - q_a)^2}{(n-1)} \right]^{0.5} \quad [9]$$

که در آن،  $Cv$  ضریب تغییرات ساخت قطره‌چکان در کارخانه،  $S_d$  انحراف از معیار مقادیر دبی اندازه‌گیری شده قطره‌چکان‌ها و  $q_a$  متوسط مقادیر دبی اندازه‌گیری شده می‌باشد و قطره‌چکان‌ها بر مبنای استاندارد انجمن مهندسان کشاورزی امریکا (بی‌نام ۲۰۰۳) مورد ارزیابی و طبقه بندی قرار می‌گیرند. یکی از اولین معیارهای تعریف شده برای بیان یکنواختی، ضریب یکنواختی  $cu$  است که بوسیله کریستیانسن در سال ۱۹۴۲ تعریف شده است. از این ضریب برای تعریف یکنواختی قابل قبول استفاده می‌شود و از اطلاعاتی که نماینده همان منطقه است از رابطه ۱۰ به دست می‌آید (اسکوگ و کیکر ۲۰۰۲).

$$cu = 100 \left[ 1 - \frac{\sum |q_i - q_a|}{(n \times q_a)} \right] \quad [10]$$

که در آن،  $cu$  ضریب یکنواختی  $q_i$  دبی خروجی از گسیلنده‌ها،  $q_a$  متوسط دبی گسیلنده‌ها و  $n$  تعداد گسیلنده‌ها می‌باشند. مقادیر مطلوب پیشنهاد شده برای

تغییرات دبی ( $q_{var}$ ) در فشارهای مختلف نیز دارای روند مشابه منحنی مربوط به ضریب تغییرات ساخت است. مطابق شکل به دست آمده در بهترین حالت، کمترین مقدار تغییرات در فشار ۱/۵ اتمسفر برابر ۲/۹۴ می‌باشد و در فشارهای کمتر یا بیشتر از آن ضریب تغییرات دبی، روند افزایشی دارد. به دلیل اینکه گسیلنده کنترل کننده حجم آب می‌بایست دارای دو قابلیت آبدهی مطلوب و کنترل دقیق حجم بطور هم زمان باشد بجزء رفتار هیدرولیکی گسیلنده مذکور، رفتار کنترلی آن نیز از اهمیت بالایی برخوردار است. از این رو عملکرد قسمت کنترل کننده جریان با اندازه‌گیری جریان قسمت کنترل، زمان قطع جریان و همچنین محاسبه نسبت دبی کنترل به دبی خروجی مورد بررسی قرار گرفت. همانطور که قبلاً ذکر شد می‌بایست نسبت دبی کنترل به دبی خروجی ۰/۰۰۰۵ باشد. در شکل ۸ نوسانات این نسبت در فشارهای مختلف نمایش داده شده است. با توجه به اینکه حجم محفظه کنترل (۵۰ میلی لیتر) مشخص است

با اندازه‌گیری زمان قطع جریان، دبی قسمت کنترل قابل محاسبه است. با ترسیم منحنی رگرسیونی دبی-فشار قسمت کنترل، رابطه مربوطه به صورت  $q_c = 0.0435 h^{0.5371}$  به دست می‌آید که مشابه منحنی های دبی-فشار قسمت خروجی گسیلنده است.

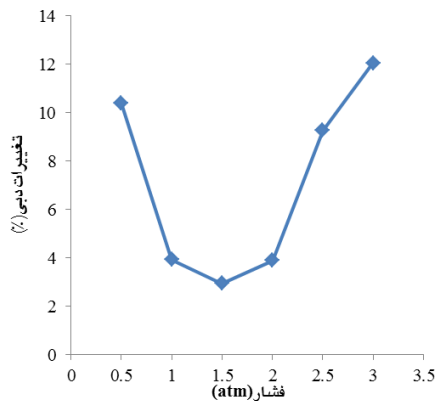
شکل ۴ نیز بیانگر تغییرات دبی گسیلنده اولیه در فشارهای مختلف در مرحله مقدماتی است. روابط دبی-فشار به دست آمده در مرحله تکمیلی برای همه نمونه‌ها مشابه و بسیار نزدیک به رابطه مذکور است. در تمامی این روابط، مقدار  $x$  تقریباً برابر ۰/۵۵ تخمین زده شده است که مبین آشفتگی بودن جریان در گسیلنده کنترل کننده حجم آب است. در شکل ۵ منحنی رابطه آبدهی-فشار بر اساس آبدهی متوسط پنج نمونه ارائه شده است. همانگونه که ملاحظه می‌شود اختلاف بین دبی متوسط و دبی کمینه و بیشینه با افزایش فشار، بیشتر شده است و در فشار ۳ اتمسفر به بیشینه مقدار خود می‌رسد بطوریکه در وضعیت مذکور اختلاف دبی متوسط با دبی بیشینه معادل ۱۰/۰۵ و با دبی کمینه معادل ۱۰/۱۱ لیتر در ساعت می‌باشد.

مطابق طبقه‌بندی ASAE (بی‌نام ۲۰۰۳) گسیلنده کنترل کننده حجم آب در کلیه فشارها در رده عالی است بطوریکه بیشینه مقدار  $C_v$  معادل ۲/۸۴ درصد است که در کمترین فشار آزمایش (۰/۵ اتمسفر) به دست آمده است. با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۱ و عملکرد بهینه گسیلنده مذکور در بازه فشاری ۱ تا ۲ اتمسفر در ایجاد نسبت دبی‌های کنترل به خروجی در حد مطلوب (معادل ۰/۰۰۰۵)، در محدوده فشاری مذکور، گسیلنده دارای عملکرد بهتری نسبت به سایر فشارهای آزمون بوده و در نتیجه کمترین مقادیر  $C_v$  در این فشارها حاصل شده است. همچنین مطابق شکل ۷ روند

جدول ۱- نتایج آزمایش‌های مقدماتی بر روی گسیلنده کنترل کننده حجم آب.

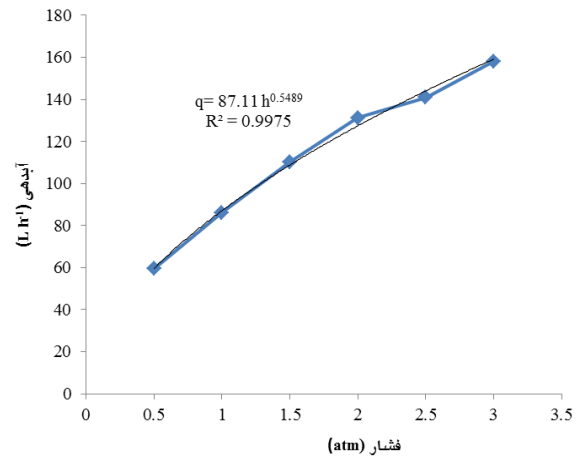
فشار (Atm)	زمان (min)	حجم آب خروجی (L)	دبی خروجی ( $L h^{-1}$ )	دبی کنترل ( $L h^{-1}$ )	نسبت دبی کنترل به دبی خروجی
۰/۵	۱۰۰	۹۹	۵۹/۴	۰/۰۳۰	۰/۰۰۰۵۰۰
۱	۷۰	۱۰۰/۵	۸۶/۱	۰/۰۴۳۰	۰/۰۰۰۴۹۷۰
۱/۵	۵۴/۵	۱۰۰/۱	۱۱۰/۲	۰/۰۵۵۰	۰/۰۰۰۴۹۹۰
۲	۴۶	۱۰۰/۶	۱۳۱/۲	۰/۰۶۵۰	۰/۰۰۰۴۹۷۰
۲/۵	۴۳	۱۰۱	۱۴۰/۹	۰/۰۶۸۰	۰/۰۰۰۴۹۵۰
۳	۳۸/۵	۱۰۱/۵	۱۵۸/۲	۰/۰۷۸۰	۰/۰۰۰۴۹۳۰



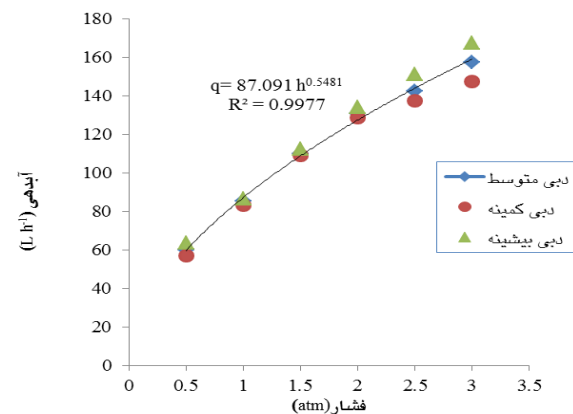


شکل ۷- رابطه تغییرات دبی گسیلنده در فشارهای مختلف.

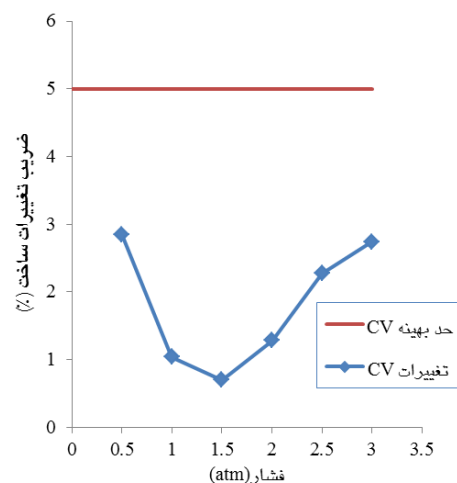
منحنی ارائه شده در شکل ۹ نیز نمایانگر رابطه زمان قطع جریان و فشار گسیلنده می‌باشد. نمای فشار در روابط دبی-فشار به دست آمده تقریباً مساوی یکدیگر هستند و مقدار آن نشان می‌دهد که جریان‌ها در بخش‌های خروجی و کنترل گسیلنده مشابه هم و از نوع جریان آشفته می‌باشد. همچنین حاصل تقسیم ضریب ثابت رابطه مربوط به قسمت کنترل به ضریب ثابت رابطه مربوط به قسمت خروجی گسیلنده حدود ۰/۰۰۰۵ است که این مقدار معادل نسبت دبی‌ها است. از آنچه ذکر شد نتیجه گرفته می‌شود که تغییرات فشار در سیستم، تغییرات یکسانی در دبی‌های بخش‌های خروجی و کنترل بوجود می‌آورد که این امر باعث ثابت ماندن نسبت دبی‌ها می‌گردد و تغییرات فشار فقط روی زمان کارکرد گسیلنده اثر می‌گذارد. نتایج و ضرایب یکنواختی به دست آمده طی آزمایشات میدانی برای گسیلنده کنترل کننده حجم آب بشرح جدول ۲ ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود در فشار ۰/۵ اتمسفر، بیشینه مقدار  $C_v$  برابر ۳/۳ برآورد شده و گسیلنده از نظر تغییرات ساخت در رده عالی طبقه‌بندی می‌گردد و مسلماً در سایر فشارها که مقدار  $C_v$  در آنها کمتر است این امر نیز محقق شده و گسیلنده در طبقه عالی قرار می‌گیرد. در مقام مقایسه، طبق تحقیقات اکرام‌نیا (۱۳۷۵)، هزارجریبی و همکاران (۲۰۰۸)،



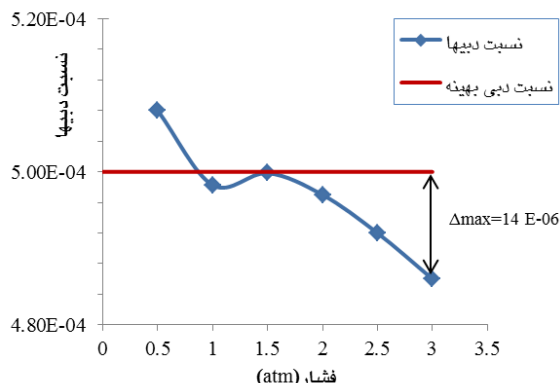
شکل ۴- رابطه آبدی-فشار به دست آمده از آزمایش‌های مقدماتی گسیلنده کنترل کننده حجم آب.



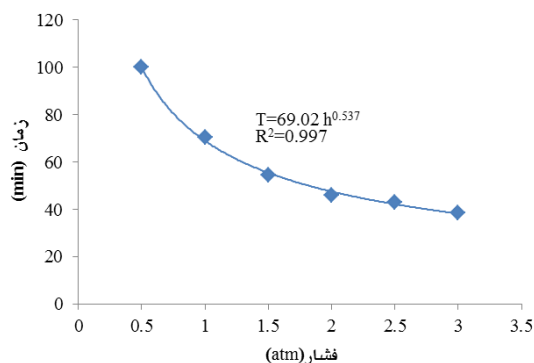
شکل ۵- رابطه آبدی-فشار قسمت خروجی بر اساس دبی متوسط پنج نمونه گسیلنده کنترل کننده حجم آب.



شکل ۶- وضعیت ضریب تغییرات ساخت گسیلنده در فشارهای مختلف.



شکل ۸- رابطه تغییرات نسبت دبی کنترل به دبی خروجی گسیلنده در فشارها مختلف.



شکل ۹- رابطه زمان قطع جریان- فشار بر اساس متوسط زمان قطع پنج نمونه گسیلنده کنترل کننده حجم آب.

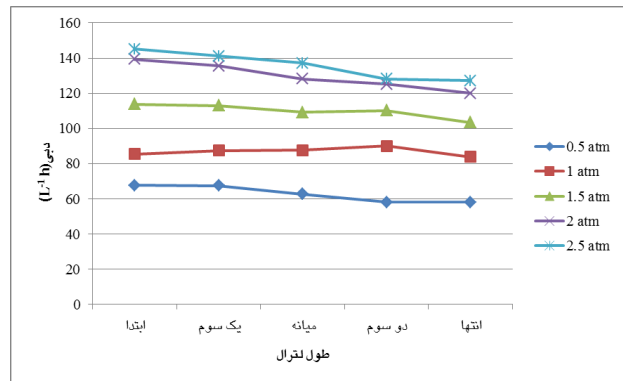
حوری (۱۳۷۶)، هزارجریبی و همکاران (۱۳۹۲) و مانیشا و همکاران (۲۰۱۵) گسیلنده‌های ارزیابی شده در رده‌های مختلف طبقه‌بندی جای گرفتند. این در حالی است که در تحقیق حاضر ضرائب  $cu$  و  $EU$  در فشار ۰/۵ اتمسفر با مقادیر ۹۷/۶ و ۹۱ کمترین مقادیر آزمون‌های میدانی را داشته که با شرایط ایده‌آل پیشنهاد شده دارای تطابق و بطور مشابه برای سایر فشارها که ضرائب مذکور مقادیر بالاتری دارند این مهم به دست آمده است. نتایج حاصل نشانگر ارتقای کارایی سیستم از نظر یکنواختی توزیع آب نسبت به سایر سیستم‌های آبیاری خودکار ارزیابی شده توسط سایر محققین نظیر منصور و همکاران (۲۰۱۴) است که متوسط  $EU$  را ۹۰/۴۴ درصد گزارش کردند در صورتیکه متوسط  $EU$  سیستم ارزیابی شده در این تحقیق، ۹۳ درصد می‌باشد. بدیهی است با افزایش مقدار  $EU$  می‌توان انتظار داشت که بهره‌وری آب نیز ارتقاء یابد. بطور خلاصه می‌توان گفت کلیه پارامترهای یکنواختی مورد آزمایش دارای وضعیت مطلوب است و وضعیت ضرائب به دست آمده در فشارهای ۱، ۱/۵ و ۲ اتمسفر (فشار کارکرد بهینه) نسبت به سایر فشارها بهتر است. شکل ۱۰ دبی خروجی از گسیلنده‌ها در طول لوله آبد در فشارهای مختلف را ارائه می‌نماید.

جدول ۲- نتایج ارزیابی پارامترهای یکنواختی به دست آمده در شرایط میدانی.

فشار (atm)	دبی متوسط ( $L h^{-1}$ )	تغییرات ساخت $CV(\%)$	وضعیت $CV$	تغییرات دبی $q_{var}(\%)$	ضریب یکنواختی $cu(\%)$	وضعیت $cu$	یکنواختی پخش $EU$	وضعیت $EU$
۰/۵	۶۲/۲	۳/۳	عالی	۱۲	۹۷/۶	مطابق پیشنهاد	۹۱	مطابق پیشنهاد
۱	۸۳/۹	۱/۲	عالی	۵	۹۹	مطابق پیشنهاد	۹۴	مطابق پیشنهاد
۱/۵	۱۰۸/۸	۱	عالی	۳/۵	۹۹/۳	مطابق پیشنهاد	۹۶	مطابق پیشنهاد
۲	۱۲۸/۸	۱/۴۷	عالی	۴/۷	۹۹	مطابق پیشنهاد	۹۲	مطابق پیشنهاد
۲/۵	۱۳۵/۷۲	۲/۸	عالی	۱۲/۳	۹۷/۸	مطابق پیشنهاد	۹۲	مطابق پیشنهاد

### نتیجه‌گیری کلی

تلفیق دو قابلیت آبدهی مناسب و کنترل حجم آب خروجی در گسیلنده کنترل کننده حجم آب موجب ایجاد مزایا و نقاط قوتی در این گسیلنده شده است که از وجوه مختلف آنرا از سایر گسیلنده‌ها متمایز می‌کند. این گسیلنده نظیر یک شیر کنترل، تغییرات فشار و دبی در شبکه را کنترل نموده و حجم خروجی آب را به میزان حجم اسمی ۱۰۰ لیتر تنظیم می‌نماید. مطابق نتایج حاصل علیرغم وجود جریان آشفته در گسیلنده کنترل کننده حجم آب، عملکرد مطلوب آن در تنظیم نسبت جریان‌های بخش خروجی و کنترل موجب کارایی بالای گسیلنده مذکور شده است. بطوریکه کلیه پارامترهای یکنواختی بررسی شده در این پژوهش با استانداردهای پیشنهاد شده مطابقت داشته و در کلیه فشارهای آزمون گسیلنده مذکور در رده عالی طبقه بندی شدند و بنابراین می‌توان با بکارگیری گسیلنده کنترل کننده حجم آب، شرایط را برای تحویل حجمی آب با بالاترین میزان یکنواختی توزیع آب در مزرعه مهیا نمود. با توجه به نتایج به دست آمده و عملکرد مطلوب گسیلنده در ایجاد یکنواختی در سیستم آبیاری و قطع خودکار جریان خروجی، می‌توان نتیجه گرفت که تغییر نگرش در نحوه کارکرد گسیلنده‌ها، شبیه آنچه در گسیلنده مذکور رخ داده می‌تواند آغازی برای ساخت گسیلنده‌های جدید و کارآمدتر از گسیلنده‌های موجود باشد.



شکل ۱۰- تغییرات دبی گسیلنده‌ها در طول لوله آبد در شرایط آزمایش میدانی.

روابط بین پارامترهای یکنواختی مختلف گسیلنده کنترل حجم آب با استفاده از روابط رگرسیونی مورد بررسی قرار گرفت و به بشرح زیر ارائه شده است.

$$C_v = 0.328(q_{var(h)})^{0.888} \quad (R^2=0.954) \quad [12]$$

$$q_{var(h)} = -3.998 + 8.183 C_v - 0.962 C_v^2 \quad (R^2=0.957) \quad [13]$$

$$q_{var(h)} = 2075 + 36.60 C_u + 0.158 C_u^2 \quad (R^2=0.990) \quad [14]$$

$$C_u = 100.2 - 1.06 C_v - 0.072 C_v^2 \quad (R^2=0.985) \quad [15]$$

$$C_u = (1 - 0.751 C_v) 100 \quad (R^2=0.984) \quad [16]$$

با بررسی روابط به دست آمده مشخص می‌شود که پارامترهای یکنواختی دارای همبستگی زیادی است و می‌توان از هر یک از آنها بعنوان معیار طراحی و ارزیابی سیستم‌های مجهز به گسیلنده کنترل کننده حجم آب استفاده نمود.

### منابع مورد استفاده

- Al-Ghobari HM, Mohammad FS and El Marazky MSA, 2013. Effect of intelligent irrigation on water use efficiency of wheat crop in arid region. *Journal of Animal & Plant Sciences* 23(6): 691-1699.
- Alizadeh, A, 2004. Irrigation systems design. Emam Reza University. (In Persian).
- Alizadeh, A, 2009. Trickle irrigation (principles and practices). Emam Reza University. (In Persian).
- Anonymous, 2006. Agricultural machines, irrigation equipment and emitters, characteristics and tests Mmethods. Iranian National Standards, No.6775. (In Persian).
- Anonymous, 2003. Design and installation of micro-irrigation systems (EP405.1). ASAE standards, 2950 Niles Road, St. Joseph, MI 49085.
- Ascough G and Kiker G, 2002. The effect of irrigation uniformity on irrigation water requirements. *Water SA*. 28(2): 235-242.

- Barragan J, Bralts V and Wu IP, 2005. Assessment of emission uniformity for micro-irrigation design. *Biosystems Engineering* 93(1): 89-97.
- Capra A. & Scicolone B, 1998. Water quality and distribution uniformity in drip/trickle irrigation systems. *Journal of Agricultural Engineering Research* 70: 355-365.
- Chapman, H and Liebig, G, 1938. Adaptation and use of automatically operated sand culture equipment. *Journal of Agricultural Research* 56: 73-80.
- Dassanayake D, Dassanayake G, Malano P, Dunn D and Langford J, 2009. Water saving through smarter irrigation in Australian dairy farming: Use of intelligent irrigation controller and Wireless sensor network. pp 4409-4417, 18th World IMACS/MODSIM Congress, Cairns, Australia.
- Dehghanisani, H and Akbari, M, 2007. Automation and Di-Electric sensors application in trickle irrigation system. The first workshop of the automation in pressurized irrigation systems. Research institute, Karaj, Iran. (In Persian).
- Ekramnia, F, 1996. Evaluation of different emitters and presenting the the best emitter from the economical and technical perspective. Msc Thesis, Tehran University. (In Persian).
- Ghorbani B, Shahbazian fard, A, 2017. Evaluation of hydraulic performance of existing drippers in some trickle irrigation systems (Case study: Sides of Zayandehroud River, Chaharmahal and Bakhtiari Province). *Journal of water and soil science*. 27(4), 1-11. (In Persian).
- Hezarjaribi A, Deghani AA, Meftah Height M, & Kiani A, 2008. Hydraulic performances of various trickle irrigation emitters. *Journal of Agronomy* 7: 265-271.
- Hezarjaribi, A, Ghorbani, G, Fazlvali, R and Abedinpour M, 2013. Evaluation of hydraulic performance of various drippers under different operation pressures and lab condition. *Journal of Water and Soil Conservation*. 20(1), 199-211. (In Persian).
- Houri M, 1997. Performance and hydraulic characteristics of different emitters in various pressures and temperatures. Msc Thesis, Ferdosi University. (In Persian).
- Keller J & Karmeli D, 1974. Trickle irrigation design parameters. *Transactions of the ASAE*. 17(4): 678-684.
- Keshtgar A, 2012. Optimum design of drip irrigation system using microtubes as emitters. MSc. Thesis, RMIT University.
- Manisha JS and Tripathi MP, 2015. Studies on hydraulic performance of drip irrigation system under different operating pressure. *International Journal of Applied Engineering and Technology*. 5(2): 58-63.
- Mansour H A, Sabreen Kh, Pibars M, Abd El-Hady and Ebtisam I, 2014. Effect of water management by drip irrigation automation controller system on faba bean production under Water deficit. *International Journal of Advanced Research*. 2(2): 143-150.
- Romero R, Muriel JL, Garcia I and Munoz de la Pena D, 2012. Research on automatic irrigation control: State of the art and recent results. *Agricultural Water Management*. 114: 59-66.
- Zamani, S, 2013. Investigation of water uniformity distribution in trickle irrigation system using water volume control system in laterals output and comparing its water distribution efficiencies with current systems. Msc Thesis, Urmia University. (In Persian).