

Development and Evaluation of a Practical Procedure to Pressure Losses Calculation in the Drip line Laterals

SAEID ZAMANI¹, ROHOLLAH FATTAHI NAFCHI^{*}

1. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

(Received: May. 7, 2021- Revised: July. 15, 2021- Accepted: July. 26, 2021)

ABSTRACT

In this study, a practical procedure was proposed for hydraulic analysis of flow in drip line lateral in the drip irrigation system to determine the major and minor losses of the driplines. In this method, the friction losses between the drippers and local head losses of the drippers were calculated step-by-step and the total pressure losses of the lateral were determined by summation of the head losses. To determine the minor losses of the emitters, the power relationship between the pipe discharge and the measured head losses related to simple and drip line pipes was determined by the nonlinear regression method. Then, the difference of the obtained head losses of these relationships in different discharges was calculated. Then, the power relationship between these results and discharge was determined by using nonlinear regression again. Also, Hazen-Williams equation and Darcy-Weisbach relationship used to determine the friction head losses. The friction coefficient (f) determined using Altshul, Blasius, and Moody diagram. Thus, four different methods of combining minor and friction head losses equations were obtained and evaluated using RE, MAE and RMAE indices. Experiments were conducted on three 60-meter samples of drip lines with emitter spacing of 0.20, 0.40 and 0.50 m and a simple sample with 16 mm diameter at 50, 100, 150, and 200 kPa pressures. The results indicated that the Darcy-Weisbach relationship based on the Blasius relationship was more accurate than the other methods. Also, the performance of the proposed experimental relationships were acceptable to estimate the local head losses. Therefore, the proposed method is recommended to calculate the head losses in the dripline laterals.

Keywords: Localized Irrigation, Minor Head Losses, Lateral, Dripper, Darcy-Weisbach Relationship.

توسعه و ارزیابی یک روش کاربردی جهت محاسبه افت فشار در لوله‌های آبدۀ با قطر چکان داخل خط

سعید زمانی^۱، روح‌اله فتاحی نافچی^{*}

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۲/۱۷ - تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۴/۲۴ - تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۵/۴)

چکیده

در این تحقیق به منظور تعیین افت‌های اصلی و جزئی و تحلیل هیدرولیکی جریان درون لوله‌های آبدۀ قطر چکان‌دار در سیستم آبیاری قطره‌ای، یک روش کاربردی پیشنهاد گردیده است. در این روش، افت اصطکاکی بین قطر چکان‌ها و افت جزئی مربوط به قطر چکان‌ها با بهره‌گیری از روش گام به گام محاسبه شد و از مجموع آنها افت کل در طول لوله تعیین گردید. بمنظور تعیین افت‌های جزئی، رابطه نمائی بین دبی لوله و افت اندازه‌گیری شده مربوط به لوله‌های ساده و قطر چکان‌دار انتخاب‌شده به روش رگرسیون غیرخطی تعیین شد. سپس از تفاضل مقادیر افت بین نتایج این روابط در دبی‌های مختلف و اجرای رگرسیون مجدد، رابطه حاکم بین افت جزئی و دبی لوله در لوله‌های آبدۀ مختلف تعیین شد. همچنین بمنظور تعیین افت اصطکاکی، روابط هیزن-ویلیامز و دارسی-وایسباخ بکار گرفته شد. جهت تعیین ضریب افت اصطکاکی (f) از روابط آتشلول، بلاسیوس و دیاگرام مودی استفاده شد. بدین ترتیب چهار روش مختلف از ترکیب معادلات افت جزئی و اصطکاکی به دست آمد و با استفاده از شاخص‌های خطای نسبی، MAE و RMAE ارزیابی شد. آزمایشات بر روی سه نمونه ۶۰ متری از لوله‌های قطر چکان‌دار با فواصل ۰/۲۰، ۰/۴۰ و ۰/۵۰ متر و قطر ۱۶ میلی‌متر به انضمام یک نمونه لوله ساده با قطر و طول مشابه در فشارهای ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوپاسکال انجام شد. نتایج اثبات کرد که رابطه تجربی پیشنهادی برای تخمین افت جزئی کارکرد قابل قبولی داشته است و برای محاسبه افت اصطکاکی در لوله آبدۀ رابطه دارسی-وایسباخ مبتنی بر رابطه بلاسیوس نسبت به سایر روش‌ها دقت بیشتری داشت. بنابراین روش پیشنهادی برای محاسبه افت در لوله‌های آبدۀ قطر چکان‌دار توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری موضعی، افت‌های جزئی، لوله آبدۀ، قطر چکان، رابطه دارسی-وایسباخ.

مقدمه

مختلفی بمنظور تعیین افت‌های موضعی در لوله‌های آبدۀ بکار رفته است. از این موارد می‌توان به بکارگیری روش دینامیک سیالات محاسباتی برای قطر چکان‌های داخل خط (Provenzano et al., 2007) و روش شبکه‌های عصبی مصنوعی برای گسیلنده‌های یکپارچه و رویکردهای آنالیز ابعادی اشاره کرد (Sobenko et al., 2020). برخی هم برای محاسبه افت‌های جزئی روش تعریف طول معادل متناسب با افت‌های جزئی و افزودن آن به طول لوله لترال را پیشنهاد کردند (Keller and Karmeli, 2018; Monserrat et al., 1974). در پژوهشی (Melo et al., 2019) فاکتور اصطکاک و افت فشار را در نوارهای آبیاری با دیواره نازک که دارای گسیلنده‌هایی با مجرای مارپیچ بودند در فشارهای مختلف بررسی نمودند. نتایج مطالعات ایشان بر روی دو مدل مختلف نوار آبیاری نشان داد که می‌توان از تأثیر فشار بر روی قطر لوله‌ها در محاسبه افت فشار چشم‌پوشی کرد و معادله دارسی-وایسباخ بخوبی قادر است که افت فشار را در لوله‌های مذکور تخمین بزند، بشرط آنکه ضریب ثابت در رابطه بلاسیوس برای

تعیین افت اصطکاکی در طراحی شبکه لوله‌های آبیاری و بطور اخص لوله‌ها با خروجی‌های زیاد از اهمیت زیادی برخوردار است. هزینه کل در یک سیستم آبیاری موضعی و همچنین وضعیت تعادل هیدرولیکی در سیستم متأثر از برآورد دقیق مقادیر افت اصطکاکی و افت‌های موضعی در لوله‌های آبدۀ و منیفولدها می‌باشد. افت در لترال به دو بخش افت اصطکاکی در طول لوله و افت‌های جزئی ناشی از نصب گسیلنده‌ها، اتصالات و متعلقات مسیر جریان در لوله تقسیم‌بندی می‌شوند (Alawee et al., 2020). اهمیت افت‌های جزئی تا اندازه‌ای است که نادیده گرفتن آنها به ترتیب منجر به تخمین ۲۵/۷ درصدی و ۹/۵ درصدی بیشینه طول در لترال‌های دارای قطر چکان‌های جبران‌کننده فشار و معمولی شده است. در نتیجه عدم احتساب افت جزئی باعث طراحی نادرست طول و قطر لوله آبدۀ و در نتیجه افزایش هزینه‌های اجراء و بهره‌برداری سیستم آبیاری قطره‌ای می‌شود (Gomes et al., 2010). بنابراین طی سال‌های اخیر، روش‌های

مبانی توسعه و ارزیابی روش

معادله هیزن- ویلیامز یک رابطه نیمه تجربی است که فقط برای جریان آب در لوله‌های تحت فشار معتبر است و تأثیرات دما و ویسکوزیته آب را در میزان مقاومت در برابر حرکت آب را لحاظ نمی‌کند. در شرایطی که وضعیت جریان آب در لوله آشفته باشد ($RN \gg 4000$) و افت انرژی فقط تابع زبری نسبی جدار لوله باشد، رابطه مذکور دقت قابل‌قبولی دارد. لیکن در جریان‌های نزدیک به لامینار یا ناپایدار (بینابینی) که در بخش‌هایی از جریان آب در لوله‌های آبدی رخ می‌دهد، استفاده از این رابطه منجر به بروز خطا در تخمین افت می‌شود. اما از آنجاکه این رابطه بدون نیاز به محاسبه عدد رینولدز بر اساس پارامترهای قابل‌دسترس پیشنهاد شده و ساختار ساده‌ای دارد، مورد اقبال طراحان و مهندسان قرار گرفته است. شکل کلی معادله چنین است (Williams and Hazen, 1933):

$$H_f = K.L.\left(\frac{Q}{C}\right)^{1.852}.D^{-4.87} \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن، L ، طول لوله (L)، Q ، دبی (L^3T^{-1})، D ، قطر لوله (L)، C ، ضریب زبری، K ، ضریب ثابت بدون بعد که بر حسب واحدهای پارامترهای موجود در معادله تعیین می‌گردد (در سیستم SI، $K=10.67$) و H_f ، افت اصطکاکی در طول (L) از لوله است.

معادله دارسی-وایسباخ نیز یک رابطه مبتنی بر فیزیک جریان سیالات است که براساس قوانین شباهت (آنالیز ابعادی) به‌دست آمده است. رابطه زیر برای محاسبه افت در لوله‌های با جداره صاف و قطر کوچک که غالباً از آنها به عنوان لوله آبدی در سیستم خرد آبیاری استفاده می‌شود، دقت خوبی دارد (Weisbach, 1855).

$$H_f = f\left(\frac{L}{D}\right)\left(\frac{V^2}{2g}\right) \quad (\text{رابطه ۲})$$

این رابطه بجز پارامترهای معرفی شده در بالا شامل V ، سرعت جریان در لوله (LT^{-1})، g ، شتاب ثقل (LT^{-2}) و f ، ضریب بی‌بعد موسوم به ضریب اصطکاک می‌باشد. این ضریب تابعی از وضعیت جریان و زبری جداره لوله (ϵ) است. وضعیت جریان‌ها به سه گروه جریان ورقه‌ای ($RN < 2000$)، ناپایدار ($2000 < RN < 4000$) و آشفته ($RN > 4000$) تقسیم می‌شوند. برای جریان ورقه‌ای، ضریب اصطکاک از رابطه هاگن-پویسول که فقط به عدد رینولدز مرتبط است به‌دست می‌آید (Von Bernuth, 1990):

$$f = \frac{64}{RN} \quad (\text{رابطه ۳})$$

برآورد ضریب اصطکاک در هر یک از این لوله‌ها به مقدار $0.3442/0.3225$ افزایش یابد. شایان ذکر است خطای بالای فرمول‌ها و روش‌های تجربی ارائه شده جهت تعیین افت در لوله آبدی، نظیر روش تعیین طول معادل، ناشی از عدم تطابق فرضیات و شرایط خاص به کار رفته در توسعه روش‌های مذکور با شرایط عمومی است. چراکه روش طول معادل به موارد خاصی مانند قطر لوله آبدی، توان سرعت جریان آب در لوله، نوع گسیلنده و میزان فرورفتگی گسیلنده در لوله بستگی دارد و به‌راحتی قابل‌تعمیم و بهره‌برداری در همه شرایط نیست و لذا در نظرگرفتن درصد مشخص از طول لترال به عنوان طول معادل غالباً با خطای زیادی همراه است (Wang et al., 2020). بعنوان مثال در نمودار ارائه شده توسط Keller and Bliesner (1990) طول معادل در لترال به‌ازای نصب هر قطره‌چکان روی خط که در سه دسته قطره‌چکان با تیزه کوچک، متوسط و بزرگ طبقه‌بندی شده‌اند، در بازه تقریبی $0.05-0.15$ متر و برای هر قطره‌چکان داخل خط حدود 0.22 متر ارائه شده است که نتایج مطالعات Sadraddini et al. (2009) نشان داد مقادیر افت حاصل از کاربرد نمودار مذکور، برای قطره‌چکان‌های روی خط متداول در ایران از دقت مطلوبی برخوردار نمی‌باشد.

بطور مشابه در بسیاری از روابط پیشنهاد شده برای محاسبه افت لترال، تأثیر تغییر دما بر ضریب ویسکوزیته سینماتیک منظور نشده است و در برخی دیگر بمنظور تسهیل در روند محاسبات افت، قطر لوله آبدی و فواصل نصب گسیلنده‌ها ثابت فرض شده است که اغلب با شرایط واقعی مطابقت ندارد و باعث ایجاد خطا در برآورد افت در لوله آبدی می‌گردد. همچنین در شبیه‌سازی‌های عددی بیشتر تمرکز بر ویژگی‌های جریان در لترال بوده است (Wang et al., 2020). از این‌رو از لحاظ فنی و اقتصادی تهیه و ارائه رابطه‌ای دقیق و کارآمد که طراحان را در دستیابی به تخمینی دقیق از تغییرات فشار و دبی در لوله آبدی یاری نماید تا بتوانند طول و مشخصات لوله لترال و گسیلنده‌ها را بخوبی طراحی و انتخاب نمایند، بسیار حائز اهمیت است. برای نیل به این هدف در این پژوهش اولاً با ارزیابی نتایج روابط پرکاربرد در محاسبه افت، بهترین و کارآمدترین رابطه برای محاسبه افت در لوله آبدی تعیین خواهد شد و ثانیاً رابطه تجربی مبتنی بر نتایج مشاهدات عملی برای تعیین افت‌های جزئی گسیلنده‌ها استخراج می‌گردد و با ادغام دو رابطه و بکارگیری روش گام به گام پیش‌رونده از ابتدای لوله آبدی جهت تعیین افت کل در مقاطع مختلف لوله آبدی با قطره‌چکان داخل خط، پیشنهاد و ارزیابی می‌شود.

$$J = \frac{100H_f}{L} \quad (\text{رابطه ۹})$$

که J ، افت لوله در ۱۰۰ متر ($m/100m$) است.

به منظور تعیین افت جزئی برای کلیه لوله‌های آبد، روابط نمائی افت-دبی برای افت‌های اندازه‌گیری شده و محاسبه شده توسط روابط فوق استخراج شده و با استفاده از رابطه زیر مقدار آن محاسبه می‌شود:

$$J_e = J_D - J_s \quad (\text{رابطه ۱۰})$$

که در آن، J_e ، J_D به ترتیب مقادیر افت‌های جزئی و افت کل در ۱۰۰ متر طول لوله قطره‌چکان‌دار و J_s مقدار افت در ۱۰۰ متر طول لوله ساده هستند. با جایگذاری روابط نمائی مربوط به معادله افت رابطه فوق را می‌توان چنین نوشت:

$$J_e = K_D Q^a - K_S Q^b \quad (\text{رابطه ۱۱})$$

در این معادله Q ، دبی جریان در لوله ($L^3 T^{-1}$)، K_D و a ضرائب مربوط به معادله نمائی لوله‌های قطره‌چکان‌دار و K_S و b نیز ضرائب ثابتی هستند که بر اساس اندازه‌گیری افت در لوله ساده در فشارهای مختلف تعیین شده است. با استفاده از این رابطه می‌توان درصد مقادیر افت جزئی در لوله آبد را برای دبی‌های مختلف جریان تعیین کرد و بر اساس نتایج حاصل رابطه نمائی بین درصد افت‌های جزئی و دبی جریان در لوله به‌دست آورد.

$$J_e = K_e Q^e \quad (\text{رابطه ۱۲})$$

$$H_e = \frac{J_e}{100S_e} \quad (\text{رابطه ۱۳})$$

در این رابطه، J_e مقدار کل افت جزئی در ۱۰۰ متر لوله آبد، K_e و e ضرائب رگرسیون به‌دست آمده از رگرسیون غیرخطی کل افت جزئی محاسبه شده از رابطه ۱۱ بر حسب دبی لترال است. همچنین، K_e ، فاصله بین قطره‌چکان‌ها و H_e ، متوسط افت جزئی در قطره‌چکان است که بر مبنای کل افت جزئی در ۱۰۰ متر لوله آبد تعیین شده است. در واقع در رابطه اخیر، با در نظر گرفتن تمامی عوامل موثر در ایجاد افت موضعی در گسیلنده اعم از عبور جریان، تنگ‌شدگی مسیر و ساختار گسیلنده‌ها، میانگین افت جزئی قطره‌چکان‌های داخل خط با فواصل مشخص از نسبت کل افت جزئی لترال به تعداد قطره‌چکان‌ها در ۱۰۰ متر لوله آبد تعیین شده است.

در روش پیشنهادی، افت اصطکاکی طولی حد فاصل قطره چکان‌ها به انضمام افت جزئی آنها بطور گام به گام پیش‌رونده افت کل در مقاطع مختلف از ابتدای لوله تعیین می‌شود. از این‌رو مقدار افت جزئی که از رابطه ۱۲ برای هر گسیلنده قابل محاسبه است و افت اصطکاکی لوله بین گسیلنده‌ها با استفاده از روابط هیزن-

در صورتی که جریان به صورت مغشوش باشد ضریب اصطکاک دارسی-وایسباخ فقط بستگی به زبری جدار لوله دارد و رابطه مذکور به صورت زیر توصیف شده است (Nikuradse, 1933):

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \left(3.7 \frac{D}{\varepsilon} \right) \quad (\text{رابطه ۴})$$

در این فرمول D قطر داخلی لوله (L) و ε زبری جداره لوله (L) است که هر دو بر حسب یک واحد به کار می‌روند. در حالت ناپایدار ضریب اصطکاک از رابطه زیر به‌دست می‌آید (Colebrook, 1939):

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left\{ \frac{\left(\frac{\varepsilon}{D} \right)}{3.7} + \frac{2.51}{RN(f)^{0.5}} \right\} \quad (\text{رابطه ۵})$$

معادله ضمنی فوق به نام معادله کلبروک-وایت موسوم است و حل آن فقط از طریق آزمون و خطا امکان‌پذیر است. در صورتی که جدار لوله صاف باشد و زبری نسبی بسیار کوچک و قابل اغماض، این رابطه به شکل زیر نوشته می‌شود.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \left\{ \frac{RN(f)^{0.5}}{2.51} \right\} \quad (\text{رابطه ۶})$$

همچنین جهت تعیین ضریب f بر مبنای عدد رینولدز در کلیه رژیم‌های جریان، می‌توان از دیاگرام مودی (Moody, 1944) استفاده کرد.

رابطه آتشلول یکی از این روابط بیان‌کننده ضریب اصطکاک است که به شرح زیر ارائه شده است (Altshul, 1952):

$$\frac{1}{f} = 1.8 \log \left(\frac{RN}{RN \left(\frac{\varepsilon}{D} \right) + 7} \right) \quad (\text{رابطه ۷})$$

رابطه بلاسیوس رابطه دیگری است که برای جریان‌هایی با عدد رینولدز ۲۳۰۰ تا ۱۰^۵، دقت بالایی دارد (Blasius, 1913).

$$f = \frac{0.3164}{RN^{0.25}} \quad (\text{ابطه ۸})$$

رابطه بلاسیوس مستقل از قطر لوله نیست زیرا به عدد رینولدز بستگی دارد. اما دقت آن برای عدد رینولدز بیشتر از ۱۰^۵ کم می‌شود، چراکه در این حالت، مقدار ضریب اصطکاک به صفر نزدیک می‌شود، در حالی که در واقع، فاکتور اصطکاک یک مقدار مثبت است. با این‌حال، معادله تقریباً برای هر قطری در بازه پیشنهادی عدد رینولدز، معتبر است.

افت در ۱۰۰ متر لوله که معادل شیب خط افت اصطکاکی است بر حسب افت کل، H_f ، چنین تعریف شده است:

جغرافیایی "۳۶'۵۰" شمالی اجراء و لوله‌های آبد به آن متصل و در مسیر بدون شیب نصب گردید. بمنظور جلوگیری از تاثیر تغییرات جریان بر عملکرد گسیلنده‌ها با افزودن لوله ساده در ابتدا و انتهای لوله‌های آزمایش، اولین گسیلنده به فاصله ۳ متری از ابتدای لترال و آخرین گسیلنده به فاصله ۱ متری از انتهای آن نصب گردید. فشار آزمایشات با استفاده از لوله کنارگذر به میزان ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوپاسکال تنظیم شد و آزمایش‌ها با استفاده از آب مناسب با TSS کمتر از ۵ میلی‌گرم در لیتر و دمای ۲۵ درجه سلسیوس در سه تکرار انجام گردید. بمنظور خروج هوا از لوله و گسیلنده‌ها و به تعادل رسیدن سیستم، جمع‌آوری اطلاعات ۵ دقیقه پس از شروع به کار سیستم آغاز شد و برای محاسبه آبدی گسیلنده‌ها در موقعیت‌های ابتدا، یک چهارم، سه‌چهارم و انتهای لوله لترال، چاله‌های مناسبی حفر گردید و ظروف اندازه‌گیری داخل آنها قرار داده شد. سپس با اندازه‌گیری زمان و حجم آب جمع‌آوری شده، دبی خروجی از هر گسیلنده اندازه‌گیری شد. همچنین فشار آب موجود در این موقعیت‌ها با استفاده از فشارسنج‌های دیجیتالی ساخت کارخانه کلمر سوئیس (مدل LEX1) با دقت اندازه‌گیری ۱۰۰ پاسکال که هم‌تراز با لوله نصب شده بودند، تعیین شد (ASAE, 1988). سپس رابطه دبی- فشار قطره‌چکان‌ها با استفاده از دبی خروجی از قطره‌چکان‌ها و فشارهای اندازه‌گیری شده در موقعیت‌های مذکور بر اساس استاندارد (ASAE 1988) که در سال ۲۰۱۹ بازنگری شده است برای هر یک از لوله‌ها و فشارهای آزمایش در کلیه تکرارها استخراج شد. همچنین با نصب یک کنتور ۰/۵ اینچی ساخت کارخانه A.N.D مدل T30 با دقت اندازه‌گیری ۰/۱ لیتر در ابتدای لوله، کل دبی خروجی از لترال در فشارهای مختلف آزمایش، اندازه‌گیری شد. در مورد لوله ساده نیز با باز کردن انتهای لوله دبی عبوری از لوله توسط شیرکنارگذر به میزان مختلف تنظیم گردید. بدین ترتیب دبی همه لوله‌های آزمایش در فشارهای مختلف تعیین شده و جهت توسعه مدل بکار رفت و نهایتاً نتایج به‌دست آمده مبنای ارزیابی روابط هیزن-ویلیامز و دارسی-وایسباخ که از سه رابطه پیشنهادی آتشل، کلبروگ-وایت و بلاسیوس جهت تعیین ضریب افت اصطکاک در آن استفاده شده بود، قرار گرفت. همچنین با محاسبه اختلاف اعداد قرائت شده از فشارسنج‌ها، مقدار افت در مقاطع مختلف لوله آبد تعیین و سپس با استفاده از رابطه ۹، افت اصطکاک در صد متر طول لوله به‌دست آمد. از طرفی دبی جریان در این مقاطع بر اساس دبی اندازه‌گیری شده توسط کنتور و دبی خروجی قطره‌چکان‌ها تعیین شد و مبنای ترسیم منحنی افت اصطکاک در صد متر لوله نسبت به دبی لوله‌های آبد و دیگر محاسبات قرار گرفت.

ویلیامز و رابطه دارسی-وایسباخ که در آن از سه روش متفاوت در تعیین ضریب افت اصطکاک استفاده شده است به یکدیگر اضافه می‌شود و بدین ترتیب چهار روش ترکیبی مختلف جهت تعیین افت در لوله آبد با رویه یکسان به‌دست می‌آید که پس از مقایسه نتایج آنها با نتایج مشاهداتی و ارزیابی عملکرد آنها، روش دقیق و کارآمد از بین روش‌های مذکور معرفی می‌گردد.

بمنظور ارزیابی روش‌ها، نتایج حاصل از روش به کار رفته با مشاهدات عملی به کمک شاخص‌های آماری شامل میانگین قدر مطلق خطا، MAE و ریشه دوم میانگین مربعات خطا، $RMSE$ ، مقایسه می‌شود. پارامتر $RMSE$ ، میزان خطای بین دو مجموعه داده را تعیین می‌کند. بعبارت دیگر این شاخص فاصله نقاط اندازه‌گیری شده را از خط رگرسیون یا خط مدل نشان می‌دهد و MAE ، نیز میانگین اختلاف بین مقادیر پیش‌بینی شده از مقادیر اندازه‌گیری شده را ارائه می‌کند. شاخص MAE به همه خطاها وزن یکسانی می‌دهد در حالی که در شاخص $RMSE$ ، خطاهایی با مقادیر مطلق بزرگتر، وزن بیشتری نسبت به خطاهای با مقادیر مطلق کوچکتر دارد. به‌هرحال، هرگاه مقادیر این شاخص‌ها حدوداً برابر صفر باشد، کارایی روش عالی است.

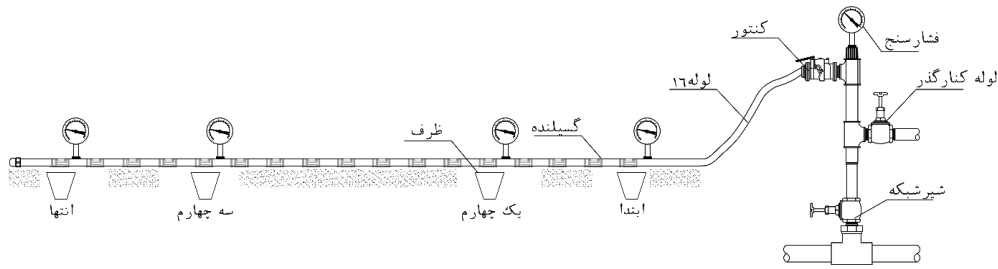
$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |(P_i - O_i)| \quad (\text{رابطه ۱۴})$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (\text{رابطه ۱۵})$$

که در آن O_i ، افت اندازه‌گیری شده در لوله آبد، P_i ، افت محاسبه شده و n ، تعداد نمونه‌ها است (Willmut, 1982).

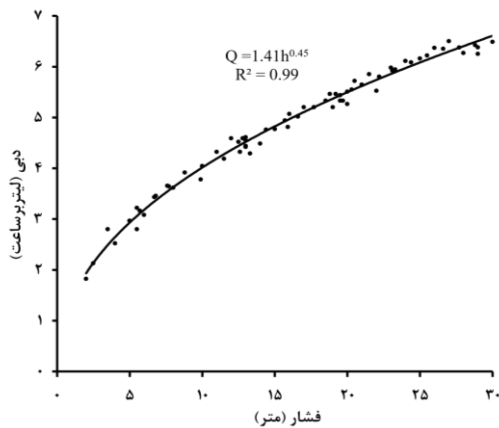
مواد و روش‌ها

در این پژوهش با هدف توسعه روشی کاربردی در شبیه‌سازی دقیق و نزدیک با شرایط واقعی در مزرعه، تجهیزات و چارچوب‌های متداول در طراحی و اجرای سیستم‌های آبیاری قطره‌ای مبنای توسعه و ارزیابی روش پیشنهادی قرار گرفته است. بر همین اساس سه نمونه ۶۰ متری از لوله‌های قطره‌چکان‌دار ساخت کارخانه IEM با نام تجاری اکنودریپ ساده به قطر نامی ۱۶ میلی‌متر که دارای قطره‌چکان‌های داخل خط سیلندری از نوع قطره‌چکان‌های معمولی (غیر تنظیم کننده‌فشار) با آبدی اسمی ۴ لیتر بر ساعت و فواصل نصب ۰/۲۰، ۰/۴۰ و ۰/۵۰ متری بود به انضمام یک نمونه لوله پلی‌اتیلن ساده ۱۶ میلی‌متری به طول مشابه و با مواد اولیه و ضخامت جداره لوله مشابه با لوله‌های قطره‌چکان‌دار ساخت کارخانه IEM انتخاب گردید. تجهیزات آزمایش طبق شکل ۱ بر روی شبکه آب موجود در محوطه گلخانه شهرداری اصفهان با طول جغرافیایی "۱۹°۴۳'۵۱" غربی و عرض



شکل ۱- طرح شماتیک تجهیزات آزمایش تعیین افت در لوله‌های قطره چکان دار

می‌گردد اختلاف افت اصطکاکی مربوط به لوله‌های مختلف در دبی‌های کم، ناچیز می‌باشد و با افزایش دبی، هرچه فاصله قطره‌چکان‌ها بیشتر می‌شود، مقدار افت افزایش می‌یابد. به طوری که بیشترین مقادیر افت اصطکاکی مربوط به لوله ساده و کمترین آن مربوط به لوله قطره‌چکان‌دار با فواصل ۰/۲۰ متری است.

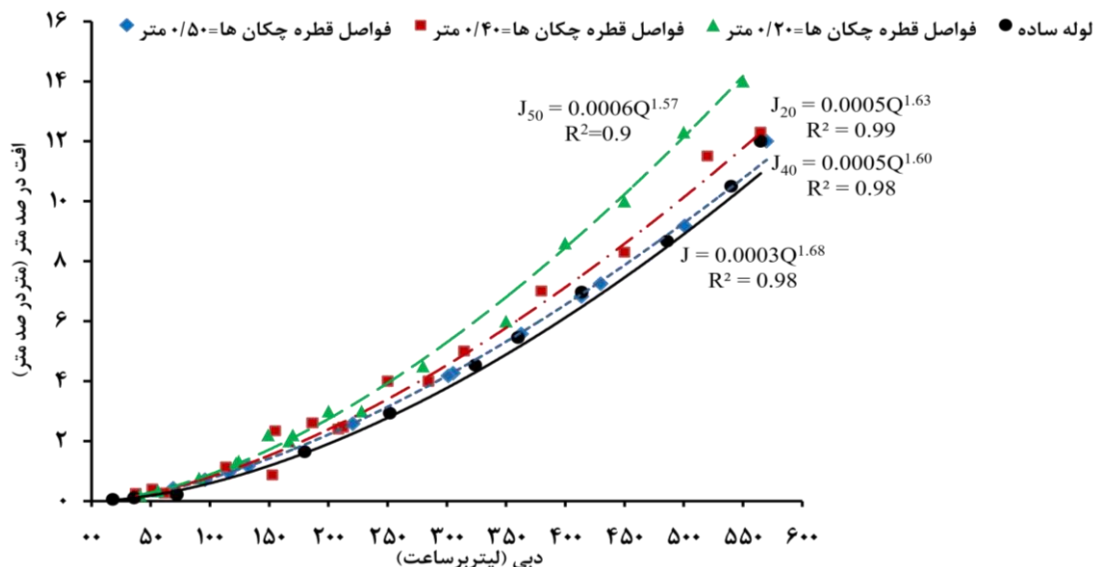


شکل ۲- منحنی مشخصه گسیلنده‌ها

نتایج و بحث

با توجه به اینکه انجام مطالعات طراحی، ارزیابی و بهره‌برداری از سیستم‌های خردآبیاری مستلزم بررسی و تعیین دبی و رفتار واقعی گسیلنده در فشارهای مختلف است (Zamani and Fattahi, 2019)، معادله مشخصه گسیلنده طبق شکل ۲ به دست آمد. طبق نتایج این مطالعات، ضریب تغییرات ساخت قطره‌چکان‌ها (CV) در بازه فشاری ۱۵۰-۱۰۰ کیلوپاسکال ۵/۲-۵ درصد به دست آمد که طبق استاندارد ASAE (1988) در رده عالی قرار گرفته است اما در فشارهای خارج از بازه مذکور، مقدار پارامتر CV به ۱۰ درصد افزایش یافته و قطره‌چکان‌ها در رده متوسط قرار گرفت. در نتیجه هم راستا با نتایج (Zamani and Fattahi, 2019) می‌توان نتیجه گرفت که گسیلنده‌ها در فشارهای خاصی دارای عملکرد بهینه هستند و در فشارهای کمتر یا بیشتر از آن، ضریب یکنواختی گسیلنده کاهش می‌یابد.

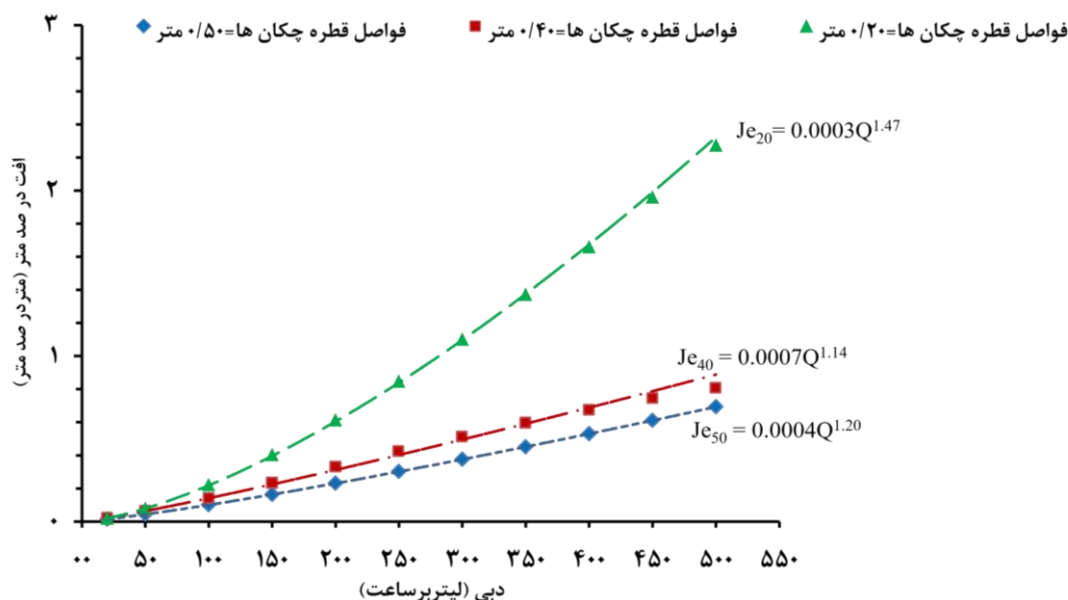
نمودارهای مربوط به افت فشار در صد متر لوله‌های آبدبه نسبت به دبی مطابق شکل ۳ ارائه شده است. همانطور که ملاحظه



شکل ۳- منحنی افت اصطکاکی در صد متر طول لوله‌های آبدبه نسبت به دبی

۰/۴۰ و ۰/۵۰ متری است. مقایسه شکل‌های ۳ و ۴ نشان می‌دهد که تغییرات افت کل و افت جزئی دارای روند مشابهی هستند و با افزایش دبی و کاهش فاصله قطره‌چکان‌ها، افت‌های مذکور بیشتر و شیب تغییراتشان تندتر می‌گردد.

با استفاده از روابط نمائی به دست آمده از شکل ۳ و بر اساس معادله ۱۱، مقادیر افت جزئی به وجود آمده در هر لوله آبد در آبدهی مختلف محاسبه و بر پایه آن روابط مابین شیب افت اصطکاکی برای هر لوله طبق شکل ۴ به دست آمد. روابط Je_{20} ، Je_{40} و Je_{50} به ترتیب مربوط به لوله قطره‌چکان‌دار با فاصله ۰/۲۰،



شکل ۴- منحنی افت جزئی در صد متر طول لوله‌های آبد نسبت به دبی

۰/۸ درصد بود و مقدار مذکور در تخمین افت لوله ساده و لوله های قطره‌چکان‌دار ۰/۵ و ۰/۴ متری، کمتر از دو درصد است که موید دقت زیاد رابطه مذکور در پیش‌بینی ضریب افت است. به همین ترتیب مقادیر MAE و $RMSE$ به دست آمده به ترتیب در بازه ۰/۲۳-۰/۰۱ و ۰/۳۵-۰/۰۱ متر قرار گرفته است. پس از رابطه بلاسیوس، دیاگرام مودی دقت بیشتری در تخمین افت داشته است. بازه پارامترهای RE ، MAE و $RMSE$ مربوط به این روش به ترتیب ۵/۴-۱ درصد، ۰/۳۳-۰/۰۱ و ۰/۴۲-۰/۰۱ متر است. رابطه آتشول و هیزن-ویلیامز نیز به ترتیب در رتبه‌های بعدی از نظر دقت و کارایی قرار گرفتند. حداقل RE ، MAE و $RMSE$ مربوط به رابطه آتشول ۱/۸٪، ۰/۰۳ و ۰/۰۳ متر و حداکثر آن ۵/۹٪، ۰/۲۲ و ۰/۳۲ متر است و همچنین کمینه این پارامترها برای رابطه هیزن-ویلیامز ۲/۳ درصد، ۰/۰۵ و ۰/۰۶ متر و بیشینه آنها ۸/۱ درصد، ۰/۵۹ و ۰/۷۱ متر است که اگرچه نسبت به دو روش دیگر مقادیر بیشتری دارند اما در حد قابل قبول هستند. به طور کلی در شرایط وجود جریان‌های آرام که غالباً در انتهای لوله‌های آبد به وجود می‌آید از بین روش های معرفی شده، تنها بخشی از دیاگرام مودی که مبتنی بر معادله هاگن-پویسول است، قابلیت تعیین ضریب اصطکاک را

با بهره‌گیری از روابط به دست آمده مربوط به تخمین افت جزئی در لوله‌های آبد و همچنین روابط تشریح شده در مورد محاسبه ضریب افت اصطکاکی شامل رابطه هیزن-ویلیامز و سه معادله دارسی-وایسباخ مبتنی بر روابط آتشول، بلاسیوس و دیاگرام مودی، تغییرات فشار در طول هر یک از لوله‌های آزمایش به روش گام به گام از ابتدا تا نقاط یک‌چهارم، سه‌چهارم و انتهای لوله بررسی و نتایج محاسبات به انضمام مقادیر اندازه‌گیری شده در آزمایش‌ها طبق جدول ۱ ارائه شده است. همچنین بر اساس نتایج حاصل، متوسط خطای نسبی (RE) و شاخص‌های آماری شامل میانگین قدر مطلق خطا (MAE) و ریشه دوم میانگین مربعات خطا ($RMSE$) مربوط به محاسبه افت در همه لوله‌ها با استفاده از روش‌های مختلف تشریح شده در این مقاله تعیین گردید و در جدول ۲ ارائه شده است.

نتایج ارائه شده در این جداول نشان می‌دهد که رابطه بلاسیوس اگرچه در مواردی که عدد رینولدز کمتر از ۲۰۰۰ بود کارآمد نبود اما در مواردی که عدد رینولدز در بازه کاربردی این رابطه قرار داشت، نسبت به سایر روابط دقت بهتری در تعیین ضریب افت و متعاقباً تخمین افت اصطکاکی در لوله دارد. دامنه تغییرات خطای نسبی افت‌ها با به کارگیری رابطه بلاسیوس ۴/۴-

جدول ۱- نتایج محاسبات هیدرولیکی لوله‌های آبد به روش‌های مختلف

اندازه‌گیری شده	افت اصطکاکی (متر)			عدد رینولدز	سرعت جریان (متر بر ثانیه)	فشار اندازه‌گیری شده (متر)	دبی (لیتر بر ثانیه)	طول بازه لوله (متر)	موقعیت	فشار آزمون (کیلو پاسکال)	فاصله قطره چکان (متر)
	هیژن-ویلیامز	بلاسیوس	دیاگرام مودی								
۰/۰۹۵	۰/۰۹۳	۰/۰۸۸	۰/۰۹۴	۰/۰۹۸	۳۳۳۶	۰/۲۰۶	۴/۹۰۵	۰/۰۳۴	۱۵	یک چهارم	
۰/۱۱۵	۰/۱۰۸	۰/۱۰۰	۰/۱۱۲	۰/۱۱۷	۲۴۵۳	۰/۱۵۱	۴/۷۹۰	۰/۰۲۵	۳۰	سه چهارم	۵۰
۰/۰۱۰	-	-	۰/۰۱۱	-	۷۸۵	۰/۰۵۰	۴/۷۸۰	۰/۰۰۸	۱۵	انتها	
۰/۱۶۰	۰/۱۵۸	۰/۱۵۵	۰/۱۵۸	۰/۱۶۳	۴۵۱۳	۰/۲۷۹	۹/۸۴۰	۰/۰۴۶	۱۵	یک چهارم	
۰/۲۰۰	۰/۱۹۶	۰/۱۸۶	۰/۱۹۸	۰/۲۰۵	۳۴۳۴	۰/۲۱۲	۹/۶۴۰	۰/۰۳۵	۳۰	سه چهارم	۱۰۰
۰/۰۱۵	-	-	۰/۰۱۴	-	۱۰۷۹	۰/۰۶۷	۹/۶۲۵	۰/۰۱۱	۱۵	انتها	۰/۵
۰/۲۲۵	۰/۲۲۴	۰/۲۲۳	۰/۲۲۲	۰/۲۲۹	۵۴۹۴	۰/۳۴۰	۱۴/۷۷۵	۰/۰۵۶	۱۵	یک چهارم	
۰/۲۵۵	۰/۲۵۷	۰/۲۵۰	۰/۲۶۰	۰/۲۶۹	۴۰۲۳	۰/۲۴۸	۱۴/۵۲۰	۰/۰۴۱	۳۰	سه چهارم	۱۵۰
۰/۰۲۰	-	-	۰/۰۱۸	-	۱۳۷۴	۰/۰۸۵	۱۴/۵۰۰	۰/۰۱۴	۱۵	انتها	
۰/۲۷۵	۰/۲۷۳	۰/۲۷۷	۰/۲۷۰	۰/۲۸۰	۶۱۸۱	۰/۰۳۸۱	۱۹/۷۲۵	۰/۰۶۳	۱۵	یک چهارم	
۰/۳۳۰	۰/۳۲۸	۰/۳۲۲	۰/۳۲۸	۰/۳۳۹	۴۶۱۱	۰/۲۸۵	۱۹/۳۹۵	۰/۰۴۷	۳۰	سه چهارم	۲۰۰
۰/۰۲۰	-	-	۰/۰۲۲	-	۱۵۷۰	۰/۰۹۷	۱۹/۳۷۵	۰/۰۱۶	۱۵	انتها	
۰/۱۳۰	۰/۱۳۴	۰/۱۳۱	۰/۱۳۵	۰/۱۴۰	۴۱۲۱	۰/۲۵۴	۴/۸۷۰	۰/۰۴۲	۱۵	یک چهارم	
۰/۱۷۰	۰/۱۶۸	۰/۱۵۸	۰/۱۷۰	۰/۱۷۷	۳۱۴۰	۰/۱۹۴	۴/۷۰۰	۰/۰۳۲	۳۰	سه چهارم	۵۰
۰/۰۱۰	-	-	۰/۰۱۲	-	۹۸۱	۰/۰۶۰	۴/۶۹۰	۰/۰۱۰	۱۵	انتها	
۰/۲۴۰	۰/۲۳۶	۰/۲۳۷	۰/۲۳۵	۰/۲۴۳	۵۶۹۰	۰/۳۵۱	۹/۷۶۰	۰/۰۵۸	۱۵	یک چهارم	
۰/۲۸۰	۰/۲۸۰	۰/۲۷۳	۰/۲۸۲	۰/۲۹۱	۴۲۱۹	۰/۲۶۰	۹/۴۸۰	۰/۰۴۳	۳۰	سه چهارم	۱۰۰
۰/۰۲۰	-	-	۰/۰۱۸	-	۱۳۷۴	۰/۰۸۵	۹/۴۶۰	۰/۰۱۴	۱۵	انتها	۰/۴
۰/۳۳۰	۰/۳۲۹	۰/۳۳۷	۰/۳۲۵	۰/۳۳۶	۶۸۶۸	۰/۴۲۴	۱۴/۶۷۰	۰/۰۷۰	۱۵	یک چهارم	
۰/۳۹۰	۰/۳۹۱	۰/۳۸۸	۰/۳۹۰	۰/۴۰۳	۵۱۰۲	۰/۳۱۵	۱۴/۲۸۰	۰/۰۵۲	۳۰	سه چهارم	۱۵۰
۰/۰۲۰	-	-	۰/۰۲۱	-	۱۶۶۸	۰/۱۰۳	۱۴/۲۶۰	۰/۰۱۷	۱۵	انتها	
۰/۴۱۰	۰/۴۰۶	۰/۴۲۱	۰/۴۰۱	۰/۴۱۵	۷۷۵۱	۰/۴۷۸	۱۹/۵۹۰	۰/۰۷۹	۱۵	یک چهارم	
۰/۴۹۰	۰/۴۹۰	۰/۴۹۰	۰/۴۸۵	۰/۵۰۰	۵۷۸۹	۰/۳۵۸	۱۹/۱۰۰	۰/۰۵۹	۳۰	سه چهارم	۲۰۰
۰/۰۲۰	-	-	۰/۰۲۵	-	۱۹۶۲	۰/۱۲۱	۱۹/۰۸۰	۰/۰۲۰	۱۵	انتها	
۰/۴۰۰	۰/۴۶۲	۰/۴۸۲	۰/۴۵۵	۰/۴۷۱	۸۳۳۹	۰/۵۱۵	۴/۶۰۰	۰/۰۸۵	۱۵	یک چهارم	
۰/۶۰۰	۰/۵۱۶	۰/۵۲۲	۰/۵۱۴	۰/۵۳۰	۵۹۸۵	۰/۳۶۹	۴/۰۰۰	۰/۰۶۱	۳۰	سه چهارم	۵۰
۰/۰۲۵	-	-	۰/۰۲۴	-	۱۸۶۴	۴	۳/۹۷۵	۰/۰۱۹	۱۵	انتها	
۰/۸۰۰	۰/۷۹۵	۰/۸۵۸	۰/۷۸۲	۰/۸۱۳	۱۱۳۸۱	۰/۷۰۲	۹/۲۰۰	۰/۱۱۶	۱۵	یک چهارم	
۰/۹۰۰	۰/۹۰۶	۰/۹۴۴	۰/۸۹۲	۰/۹۲۴	۸۲۴۱	۰/۵۰۹	۸/۳۰۰	۰/۰۸۴	۳۰	سه چهارم	۱۰۰
۰/۰۶۰	۰/۰۶۲	۰/۰۵۸	۰/۰۶۴	۰/۰۶۶	۲۶۴۹	۰/۱۶۳	۸/۲۴۰	۰/۰۲۷	۱۵	انتها	۰/۲
۱/۱۰۰	۱/۰۹۳	۱/۲۰۰	۱/۰۷۰	۱/۱۲۰	۱۳۶۳۷	۰/۸۴۲	۱۳/۹۰۰	۰/۱۳۹	۱۵	یک چهارم	
۱/۲۶۰	۱/۲۵۱	۱/۳۲۸	۱/۲۲۹	۱/۲۷۵	۹۹۰۹	۰/۶۱۲	۱۲/۶۴۰	۰/۱۰۱	۳۰	سه چهارم	۱۵۰
۰/۰۸۵	۰/۰۸۴	۰/۰۷۹	۰/۰۸۵	۰/۰۸۸	۳۱۴۰	۰/۱۹۴	۱۲/۵۵۵	۰/۰۳۲	۱۵	انتها	
۱/۴۰۰	۱/۳۶۸	۱/۵۲۰	۱/۳۴۲	۱/۴۰	۱۵۵۰۲	۰/۹۵۷	۱۸/۶۰۰	۰/۱۵۸	۱۵	یک چهارم	
۱/۶۰۰	۱/۵۶۶	۱/۶۸۹	۱/۵۴۰	۱/۶۰۲	۱۱۲۸۳	۰/۶۹۶	۱۷/۰۰۰	۰/۱۱۵	۳۰	سه چهارم	۲۰۰
۰/۱۰۰	۰/۱۰۸	۰/۱۰۴	۰/۱۰۹	۰/۱۱۳	۳۶۳۰	۰/۲۲۴	۱۶/۹۰۰	۰/۰۳۷	۱۵	انتها	
۰/۰۳۵	-	-	۰/۰۳۳	-	۵۲۳	۰/۰۳۴	۴/۹۶۵	۰/۰۰۵	۶۰	انتها	
۰/۱۲۵	-	-	۰/۱۳۰	-	۲۰۹۲	۰/۱۳۸	۴/۸۷۵	۰/۰۲۰	۶۰	انتها	
۰/۹۸۰	۰/۹۲۷	۰/۹۸۹	۰/۹۸۸	۱/۰۲۱	۵۲۳۰	۰/۳۴۴	۹/۰۲	۰/۰۵۰	۶۰	انتها	
۳/۳۰۰	۳/۱۱۹	۳/۵۶۰	۳/۲۷۰	۳/۴۱۰	۱۰۴۶۰	۰/۶۸۸	۶/۷۰۰	۰/۱۰۰	۶۰	انتها	متغیر
۴/۲۰۰	۳/۹۸۲	۴/۶۱۰	۴/۱۸۰	۴/۳۶۰	۱۲۰۲۹	۰/۷۹۱	۱۰/۸۰۰	۰/۱۱۵	۶۰	انتها	لوله ساده
۵/۲۰۰	۵/۲۷۶	۶/۲۱۰	۵/۵۳۰	۵/۷۹۰	۱۴۱۲۲	۰/۹۲۹	۱۴/۸۰۰	۰/۱۳۵	۶۰	انتها	
۶/۳۰۰	۶/۳۵۴	۷/۵۵۰	۶/۶۵۰	۶/۹۹۰	۱۵۶۹۱	۱/۰۳۳	۱۳/۷۰۰	۰/۱۵۰	۶۰	انتها	

بود. اما به نظر می‌رسد با توجه به مقدار ناچیز افت در لوله‌ها با جریان لایه‌ای، هم سو با نتایج پژوهش Wang et al (2018)

دارد که البته دقت چندان بالایی هم نداشته و خطای نسبی به دست آمده در این شرایط در پژوهش حاضر بیشتر از پنج درصد

در دبی‌های مختلف در لوله‌های مذکور تعیین و خلاصه نتایج آن در جدول ۳ ارائه شده است. در این جدول کمینه و بیشینه طول معادل لوله‌های قطره‌چکان دار در بازه‌های دبی بررسی شده در این تحقیق ارائه شده است.

می‌توان از افت در جریان‌های کم اغماض کرد. استفاده از طول معادل جهت برآورد افت جزئی گسیلنده بعنوان راهکاری آسان و کارآمد مورد توجه بسیاری از طراحان و پژوهشگران قرار گرفته است، با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۱ در مورد افت در لوله های آبد و همچنین روابط به‌دست آمده از شکل ۴، طول معادل

جدول ۲- شاخص‌های ارزیابی نتایج محاسبات هیدرولیکی لوله‌های آزمایش

فواصل قطره‌چکان‌ها (متر)	متوسط خطای نسبی (%)			میانگین قدر مطلق خطا (متر)			ریشه دوم میانگین مربعات خطا (متر)		
	آتشول	دیاگرام مودی	هیزن - ویلیامز	آتشول	دیاگرام مودی	هیزن - ویلیامز	آتشول	دیاگرام مودی	هیزن - ویلیامز
ساده	۱/۸	۱/۰	۲/۳	۰/۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۵	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۶
۰/۵۰	۲/۶	۱/۴	۴/۶	۰/۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۷	۰/۰۰۷	۰/۰۰۳	۰/۰۰۹
۰/۴۰	۳/۲	۱/۷	۲/۱	۰/۰۴	۰/۰۰۴	۰/۰۰۶	۰/۰۰۹	۰/۰۰۴	۰/۰۰۷
۰/۲۰	۵/۹	۵/۴	۸/۱	۰/۰۳۳	۰/۰۳۳	۰/۰۵۹	۰/۰۳۲	۰/۰۴۲	۰/۰۷۱

جدول ۳- طول معادل افت جزئی قطره‌چکان در لوله‌های آبد

فواصل قطره‌چکان‌ها (متر)	بازه دبی (لیتر بر ساعت)	بازه طول معادل قطره‌چکان (متر)
۰/۵	۳۰-۲۳۰	۰/۱۹-۰/۰۷
۰/۴	۳۵-۲۸۵	۰/۱۸-۰/۰۶
۰/۲	۷۰-۵۷۰	۰/۱۸-۰/۰۷

نسبت به قطره‌چکان‌های قدیمی دانست و اینکه طبق نظر Flores et al. (2020)، تفاوت در نسبت تنگ‌شدگی در قطره‌چکان‌ها موجب اختلاف در میزان افت جزئی آن‌ها می‌شود و در پی آن نتایج بعدی مبتنی بر آن نظیر تعیین طول معادل نیز متفاوت خواهد بود. مضافاً به اینکه در گراف مذکور سایر پارامترهای موثر در تعیین طول معادل که در بالا به آنها اشاره شد، در نظر گرفته نشده است و از این‌رو امروزه دقت و کارآمدی این نمودار با تردید روبه‌رو است.

نتیجه‌گیری

در این مطالعات بررسی افت‌های جزئی ناشی از وجود قطره‌چکان‌های داخل‌خط در لوله‌های آبد با طول یکسان نشان داد که مجموع افت‌های جزئی در لوله‌های آبد با کاهش فاصله قطره‌چکان‌ها و افزایش دبی لوله افزایش می‌یابد. به طوری که بیشترین افت جزئی در کل آزمایشات برابر با ۲/۲ متر در لوله قطره‌چکان دار با فاصله قطره‌چکان ۰/۲ متری و دبی کل ۵۰۰ لیتر بر ساعت و کمترین افت جزئی معادل ۰/۰۲ در لوله قطره‌چکان دار با فاصله قطره‌چکان ۰/۵ متری و دبی ۵۰ لیتر بر ساعت رخ داد. نتایج افت پیش‌بینی شده توسط هر چهار ترکیب معادله افت جزئی با معادلات هیزن-ویلیامز و داری و ایسباخ مبتنی بر رابطه آتشول، دیاگرام مودی و رابطه بلاسیوس با مقادیر اندازه‌گیری شده افت در لوله‌های قطره‌چکان دار تطابق خوبی داشت. شاخص‌های

بر مبنای نتایج حاصل، با افزایش دبی (ستون ۲ جدول ۳) و متعاقب آن افزایش افت اصطکاکی در لوله آبد، مقدار طول معادل به‌ازای افت جزئی هر قطره‌چکان کمتر می‌شود (ستون ۳ جدول ۳). دلیل این امر این است که از آنجاکه طبق روابط به دست آمده از شکل‌های ۳ و ۴، تاثیر افزایش دبی بر افزایش افت اصطکاکی در لوله بسیار بیشتر از افت‌های جزئی قطره‌چکان است، با افزایش دبی لوله و افت در آن، اگرچه افت جزئی قطره‌چکان‌ها هم کمی افزایش می‌یابد اما مقدار طول معادل به‌ازای افت جزئی قطره‌چکان که بر پایه نسبت افت‌های جزئی به افت کل تعیین می‌شود، با نسبت کمتری قابل برآورد خواهد بود و از این‌رو طول معادل در چنین وضعیتی کاهش می‌یابد. از طرفی، روابط حاصل در شکل ۴ نشان داد که با کاهش فاصله قطره‌چکان‌ها، افت جزئی در لوله آبد و سهم آن از افت کل افزایش می‌یابد و در نتیجه طول معادل به‌ازای افت جزئی قطره‌چکان با کاهش فواصل آن‌ها کاهش می‌یابد. این نتایج هم راستا با نتایج (Juana et al. 2002) ثابت کرد که فاصله قطره‌چکان‌ها، فشار ورودی لترال و عدد رینولدز در تعیین طول معادل موثر است. طول معادل به‌ازای افت جزئی قطره‌چکان به‌دست آمده در این مطالعات که به طور متوسط ۰/۱۳ متر برآورد شده‌اند از مقادیر تجربی پیشنهاد شده در نمودار Keller and Bliesner (1990) که معادل ۰/۲۲ می‌باشد به مراتب کوچکتر است. علت اختلاف زیاد این دو مقدار را می‌توان ناشی از افزایش کیفیت و بهبود ساختار قطره‌چکان موجود

پیشنهادی که از ترکیب رابطه تجربی افت‌های جزئی و افت اصطکاکی لوله و بکارگیری روش گام به گام که به طور پیش‌رونده افت در لوله آبدۀ از ابتدا برآورد می‌کند، عملکرد خوبی در محاسبه افت در لوله آبدۀ با قطره‌چکان داخل خط دارد. از این‌رو، بهره‌گیری از این روش و روش‌های مشابه آن به طراحان در طراحی بهینه فنی و اقتصادی لوله آبدۀ و سیستم آبیاری قطره‌ای کمک شایانی می‌کند اما با توجه به تنوع قطره‌چکان‌ها و تفاوت در ساختار آنها، این روابط به آسانی قابل تعمیم به انواع لوله‌ها نیست و در صورتی کارآمد خواهد بود که ابتدا روابط تجربی حاکم بر لوله مورد استفاده، تهیه شود و نتایج آن مبنای کار قرار بگیرد.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

- Alawee, W. H., Almolhem, Y. A., Yusuf, B., Mohammad, T. A., & Dhahad, H. A. (2020). Variation of coefficient of friction and friction head losses along a pipe with multiple outlets. *Water Journal*, 12(3), 844.
- ASABE, EP 405.1. (1988). *Design and installation of microirrigation systems (R2019)*. ASAE Standards, St. Joseph, 900-905.
- Altshul.A.D. (1952). Obobshchonnaya zavisimost dlyagidravlicheskovo raschota turboprovodor (Generalized formula for hydraulic analysis of pipes), *Gidrotekhnicheskoye stroitelstvo*, 6, 44-47.
- Blasius, H. (1913). *Das Ahnlichkeitsgesetz in Flussigkeiten*. Verein Deutscher Ingenieure, Forschungsheft.
- Colebrook, C.F. (1939). Turbulent flow in pipes with particular reference to the transition region between the smooth and rough pipe laws. *Journal of the Institution of civil engineers*, 11(4), 133-156.
- Flores, J. H. N., Faria, L. C., Rettore Neto, O., Diotto, A. V., & Colombo, A. (2021). Methodology for determining the emitter local head loss in drip irrigation systems. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 147(1), 06020014.
- Gomes, A. W. A., Frizzone, J. A., Rettore Neto, O., and Miranda, J. H. (2010). Local head losses for integrated drippers in polyethylene pipes. *Engenharia Agrícola*, 30 (3): 435-446.
- Juana, L., Rodríguez-Sinobas, L., & Losada, A. (2002). Determining minor head losses in drip irrigation laterals. II: Experimental study and validation. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 128(6), 385-396.
- Keller, J., & Karmeli, D. (1974). *Trickle irrigation design parameters*. Transactions of the ASAE, 17(4), 678-684.
- Keller, J., & Bliessner, R. D. (1990). *Sprinkle and trickle irrigation*.
- Melo, V. G., Araújo, A., Camargo, A. P., Melo, L. L., Frizzone, J. A., & Bombardelli, W. W. (2019). Head loss in thin-walled drip tapes with continuous labyrinth. *The Scientific World Journal*, 2019.
- Moody, L.F. (1944). Friction factors for pipe flow. *The american society of mechanical engineers*, 66(8), 671-684.
- Monserrat, J., Barragan, J., & Cots, L. (2018). Design of paired laterals on uniformly sloping fields. *Journal of Irrigation and Drainage*, 144, 04018008.
- Nikuradse, J. (1933). *Strömungsgesetze in rauhenRohren*. VDI-Verlag, Berlin.
- Sobenko, L. R., Bombardelli, W. W. Á., Pires de Camargo, A., Frizzone, J. A., & Duarte, S. N. (2020). Minor losses through start connectors in micro irrigation laterals: Dimensional analysis and artificial neural networks approaches. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 146(5), 04020005.
- Provenzano, G., Dio, P. D., & Salvador, G. P. (2007). New computational fluid dynamic procedure to estimate friction and local losses in coextruded drip laterals. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 133(6), 520-527.
- Sadraddini, A. A., Delirhasannia, R., Faalian, A., Sayyadi, H., & Fakheri Fard, A. (2009). Barb Losses of four common types of on-Line trickle irrigation drippers in Iran. *Water and Soil Science*, 19(1), 39-48. (In Farsi)
- Von Bernuth, R. D. (1990). Simple and accurate friction loss equation for plastic pipe. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 116(2), 294-298.
- Wang, Y., Zhu, D., Zhang, L., & Zhu, S. (2018). Simulation of Local Head Loss in Trickle Lateral Lines Equipped with In-line Emitters Based on Dimensional Analysis. *Irrigation and Drainage*, 67(4), 572-581.
- Weisbach, J. (1855). *Die Experimental-Hydraulik*. Engelehardt, Freiburg.
- Wang, J., Yang, T., Wei, T., Chen, R., & Yuan, S. (2020). Experimental determination of local head loss of non-coaxial emitters in thin-wall lay-flat

- polyethylene pipes. *Biosystems Engineering Journal*, 190, 71-86.
- Williams, G.S. and Hazen, A. (1933). *Hydraulic tables* (3rd Ed). John Wiley & Sons nc., USA.
- Willmut, C.J., (1982). Some comments on the evaluation of model performance. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 63 (11), 1309–1313.
- Zamani, S. and Fatahi Nafchi, R. (2019). Performance evaluation and determination of the best pressure range to ideal performance for four common emitters in micro irrigation system. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 5(13), 1182-1190. (In Farsi)