

## تعیین معادله فشار ورودی به لوله‌های فرعی آبیاری بارانی با در نظر گرفتن دبی متفاوت برای آبیاش‌ها

سید حسین صادقی، سید فرهاد موسوی\* و منوچهر حیدرپور<sup>۱</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۱/۲۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۷/۳۰)

### چکیده

محاسبه دقیق میزان فشار ورودی به لوله‌های آبیاری بارانی مسئله‌ای مهم برای بر خورداری سیستم از توزیع یکنواختی مناسب می‌باشد. فاکتور متوسط ضریب تصحیح اصلاح شده  $F_{a,AVG}$  امکان محاسبه فشار ورودی به لوله را هنگامی که اولین آبیاش به فاصله دلخواه از ابتدای لوله قرار گرفته باشد فراهم می‌کند. در این مطالعه، به منظور بررسی اثر افت فشار مجاز در طول لوله فرعی بر میزان فشار ورودی به لوله، معادله‌ای جدید برای محاسبه این ضریب ارائه شد. برای نیل به این هدف و اعمال دبی متغیر برای آبیاش‌ها، یک تصاعد هندسی فرضی بین دبی آنها در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد اگر چه میزان فشار ورودی به لوله فرعی وابسته به میزان افت فشار موجود بین آبیاش‌ها می‌باشد، اما مقدار این وابستگی برای حالتی که بیش از ۱۵ آبیاش روی لوله فرعی قرار گرفته باشند، قابل صرف نظر کردن است. نتایج هم‌چنین نشان داد برای حالتی که تعداد آبیاش‌ها کمتر از ۱۵ عدد و نسبت فاصله اولین آبیاش از دهانه ورودی به فاصله آبیاش‌ها از همدیگر کمتر از ۱ باشد، محاسبه فشار ابتدایی لوله با استفاده از روش‌های قبلی با خطا همراه است و بیشتر از مقدار واقعی تخمین زده می‌شود. در این تحقیق، معادله‌ای جدید برای محاسبه ضریب کریستین سن در حالتی که فاصله اولین آبیاش از ابتدای لوله، کسری از فاصله آبیاش‌ها است، به دست آمد. این ضریب علاوه بر تعداد آبیاش‌ها و توان پارامتر سرعت در معادله افت، به افت فشار موجود بین دو آبیاش ابتدا و انتهای لوله نیز وابسته است. برای حالتی که تعداد زیادی خروجی روی لوله فرعی قرار دارد، نتایج کاربرد معادله جدید این ضریب، همخوانی بسیار نزدیکی با نتایج عددی سایر محققین دارد.

واژه‌های کلیدی: افت اصطکاک، ضریب کریستین سن، لوله فرعی، آبیاری بارانی

۱. به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و اساتید مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

\*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mousavi@cc.iut.ac.ir

## مقدمه

بدین لحاظ می‌توان مشاهده کرد که ارائه روش‌های تحلیلی ساده جهت محاسبات هیدرولیکی لوله‌های آبیاری تحت فشار و جایگزینی مدل‌های کامپیوتری همواره در دستور کار محققین بوده است (۷، ۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۳، ۲۵ و ۲۶). معادله پیشنهاد شده توسط کلر و بلیسنر (۱۴) جهت محاسبه فشار ورودی به یک لوله فرعی افقی به صورت زیر است:

$$H_I = H_a + \frac{3}{4} H_f \quad [1]$$

که در آن  $H_I$  فشار در دهانه ورودی لوله فرعی،  $H_a$  ارتفاع (بار) هیدرولیکی آب (Hydraulic head) در آبپاشی است که با فشار متوسط کار می‌کند و  $H_f$  میزان کل افت اصطکاکی در لوله است. واحدهای پارامترهای معادله ۱ برحسب ارتفاع معادل آب می‌باشد. اسکالویی و آلن (۱۷) معادله زیر را برای محاسبه فشار ورودی به لوله در شیب‌های مختلف پیشنهاد کردند:

$$H_a = H_I - \frac{3}{4} H_f + \frac{2}{3} H_v - \frac{1}{2} H_z \quad [2]$$

که در آن  $H_v$  بار سرعت،  $H_z$  تفاوت ارتفاع بین ابتدا و انتهای لوله است که برای لوله‌های افقی صفر در نظر گرفته می‌شود، و بقیه پارامترها قبلاً تعریف شده‌اند. اسکالویی و آلن (۱۷) نشان دادند که در سیستم آبیاری بارانی، بار سرعت تأثیر قابل توجهی بر کل میزان افت انرژی ندارد و از این حیث قابل صرف‌نظر کردن است. لذا برای شیب صفر (لوله افقی)، معادله ۲ همان معادله ۱ خواهد بود. انور (۴) برای نخستین بار ضریب  $F_{AVG}$  را جهت محاسبه فشار ورودی به لوله‌های آبیاری بارانی با سیستم ثابت و متحرک پیشنهاد کرد. هنگامی که فاصله اولین آبپاش از دهانه ورودی لوله برابر فاصله آبپاش‌ها از یکدیگر باشد این ضریب برابر است با:

$$F_{AVG} = \frac{H_{f_{AVG}}}{H_f} \quad [3]$$

که در آن  $H_{f_{AVG}}$  متوسط افت اصطکاکی در کل لوله است و از فرمول زیر محاسبه می‌گردد:

$$H_{f_{AVG}} = \frac{1}{N} (H_{f_1} + H_{f_2} + \dots + H_{f_{N-1}}) \quad [4]$$

که در آن  $H_{f_1}$ ،  $H_{f_2}$ ، ... و  $H_{f_{N-1}}$  به ترتیب افت اصطکاکی اولین،

لوله‌های فرعی (لترال‌ها) که آب را از لوله‌های نیمه اصلی به گسیلنده‌ها (آبپاش‌ها یا قطره‌چکان‌ها) می‌برند، عموماً شامل چندین خروجی هستند و به طور گسترده‌ای در آبیاری بارانی، قطره‌ای و حتی سطحی استفاده می‌شوند. تحلیل هیدرولیکی این گونه لوله‌ها از جهت طراحی بهینه بسیار مهم است. یک سیستم آبیاری با طراحی ضعیف حتی اگر خوب مدیریت شود اغلب منجر به کاهش محصول و راندمان آبیاری می‌شود (۱۱). لوله‌های فرعی جزء مهمی از یک سیستم آبیاری بارانی محسوب می‌شوند و طراحی صحیح آنها از لحاظ یکنواختی توزیع آب در مزرعه و راندمان آبیاری دارای اهمیت زیادی است (۱). در یک لوله فرعی آبیاری بارانی، بار فشاری از دهانه ورودی تا انتهای لوله در اثر وجود افت اصطکاکی و دیگر افت‌های جزئی، به تدریج کاهش می‌یابد. این در حالی است که دبی هر کدام از آبپاش‌های روی لوله تابعی از فشار آبپاش است. برای دستیابی به دبی ثابت برای تمامی آبپاش‌ها استفاده از تنظیم‌کننده‌های فشار و یا تغییر نوع آبپاش‌ها در طول لوله تنها گزینه‌های ممکن به نظر می‌رسند. اما هر دوی این راهکارها غیرعملی می‌باشند. بنابراین در طراحی‌های رایج جهت حفظ یکنواختی توزیع، افت فشاری معادل ۲۰ درصد فشار آبپاشی که متوسط فشار را دارد مجاز شمرده می‌شود (۱۴). در واقع، فشار ورودی به لوله فرعی طوری محاسبه می‌شود که گویی کلیه آبپاش‌ها در طول لوله دارای دبی یکسانی هستند (۱۴).

دقیق‌ترین روش محاسبه فشار ورودی به لوله فرعی استفاده از برنامه‌های کامپیوتری است که تاکنون توسط محققین زیادی ارائه شده‌اند (۲، ۳، ۸، ۹، ۱۰ و ۱۲). اگر چه این مدل‌ها بسیار دقیق بوده و نتایج آنها رضایت‌بخش است، اما استفاده از آنها نیازمند برنامه‌نویسی و حتی زمان طولانی جهت اجرای برنامه می‌باشد. از این رو، استفاده از روش‌های ساده و تحلیلی که در عین حال به اندازه کافی دقت داشته باشند، امری لازم جهت امور مهندسی آب و آبیاری است.

یکناختی حدود ۹۷ درصد، حداکثر افت مجاز بین دو آبپاش بحرانی باید ۲۰٪ باشد (۱۴). با در نظر گرفتن این فرض و این که تغییرات دبی خروجی‌ها با جذر تغییرات فشار همراه است (۱۴)، می‌توان نوشت:

$$\Delta q = \sqrt{1 + \Delta P} - 1 \quad [6]$$

که  $\Delta q$  و  $\Delta P$  به ترتیب نسبت میزان کل تغییرات دبی و فشار بین دو آبپاش ابتدا و انتهای لوله فرعی به آبپاشی که با فشار متوسط کار می‌کند می‌باشند. به طور مثال، اگر اختلاف فشار موجود بین اولین و آخرین آبپاش ۲۰٪ باشد آنگاه مقدار  $\Delta q$  برابر ۹/۵۴ درصد خواهد بود که در طراحی‌ها ۱۰٪ در نظر گرفته می‌شود. ضابطه دیگری که معادل رابطه ۶ می‌باشد این است که نسبت دبی اولین آبپاش به آخرین آبپاش برابر مقدار  $\sqrt{1 + \Delta P}$  باشد. به عبارتی:

$$\frac{q_c}{q_c^N} = \sqrt{1 + \Delta P} \quad [7]$$

با ساده‌سازی رابطه ۷، رابطه ۸ به دست می‌آید:

$$c = (1 + \Delta P)^{\frac{1}{2-2N}} \quad [8]$$

مقادیر  $c$  به ازای تعداد مختلف آبپاش و  $\Delta P$  های متفاوت در جدول ۱ ارائه شده است. ملاحظه می‌شود که با کاهش مقدار  $\Delta P$ ، قدر نسبت تصاعد به عدد ۱ نزدیک می‌شود. این بدان معنا است که هنگامی که میزان افت فشار مجاز به اندازه کافی کوچک باشد دبی آبپاش‌ها در طول لوله فرعی به هم نزدیک هستند. از طرف دیگر، با افزایش تعداد آبپاش‌ها نیز مقدار  $c$  به عدد ۱ نزدیک می‌شود.

## نتایج و بحث

### آنالیز مسأله

#### الف) محاسبه ضریب افت اصطکاکی ( $F$ )

جهت ارائه معادله مطلوب برای محاسبه فشار داخلی لوله فرعی، ابتدا لازم است تا ضریب کریستینسن با در نظر گرفتن یک تصاعد هندسی بین دبی آبپاش‌ها محاسبه گردد. شکل کلی

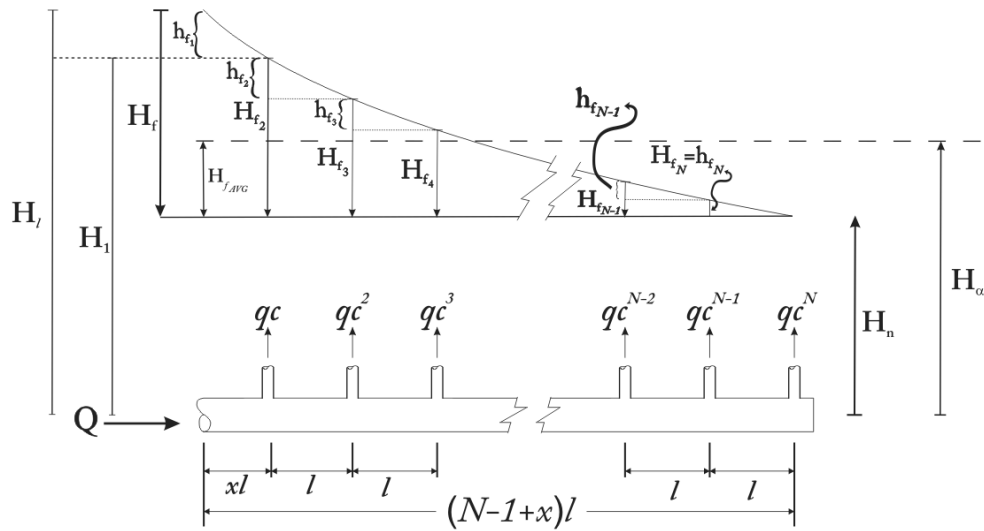
دومین، ... و  $N-1$  امین بخش لوله فرعی هستند. جهت محاسبه فشار ورودی به لوله، انور (۴) معادله زیر را پیشنهاد نمود:

$$H_1 = H_a + (1 - F_{AVG})H_f \quad [5]$$

انور (۵) با ارائه فاکتور  $F_{aAVG}$  امکان محاسبه فشار ورودی به لوله هنگامی که اولین آبپاش به فاصله دلخواه از ابتدای لوله قرار گرفته است را فراهم نمود. وی برای ارائه معادلات خود فرض نمود دبی آبپاش‌ها در طول لوله ثابت باشد. در حین ارائه معادلاتی برای محاسبه فشار ورودی به لوله‌های آبیاری بارانی چند قطری، معادله‌ای را نیز برای محاسبه فاکتور  $K$  که از نظر عددی برابر  $1 - F_{AVG}$  است ارائه کرد. از طرفی، برخی از مطالعات در تعیین فشار ورودی به لوله‌های فرعی، دبی خروجی‌ها را غیرثابت در نظر گرفته‌اند (۱۹ و ۲۴). به هر ترتیب، با توجه به بررسی‌های صورت گرفته، تاکنون تأثیر میزان افت فشار مجاز بر فشار ورودی به لوله‌های فرعی ارزیابی نشده است. در این تحقیق، با در نظر گرفتن دبی غیرثابت برای آبپاش‌ها، معادله جدیدی برای محاسبه فاکتور  $F_{aAVG}$  انور (۵) ارائه می‌گردد.

## مواد و روش‌ها

یک لوله فرعی افقی را در نظر بگیرید که روی آن  $N$  آبپاش قرار گرفته‌اند (شکل ۱). اگر اولین آبپاش در قسمت دهانه ورودی لوله قرار می‌گرفت دبی آن برابر  $q$  فرض می‌شد. اما با قرارگیری این آبپاش در فاصله  $x$  از دهانه ( $0 < x \leq 1$ ) فرض می‌گردد که دبی آن به  $qc$  تبدیل گردد به طوری که  $c$  قدر نسبت تصاعد هندسی است. به همین ترتیب، دبی آبپاش دوم برابر  $qc^2$  و دبی آبپاش آخر برابر  $qc^N$  خواهد بود. در اینجا ذکر این نکته ضروری است که منظور از در نظر گرفتن یک تصاعد هندسی بین دبی خروجی‌ها این نیست که در عمل به طور دقیق چنین رابطه‌ای برقرار است. بلکه هدف جایگزین کردن یک معادله منطقی غیرخطی به جای در نظر گرفتن مقدار ثابت  $q$  برای تمامی خروجی‌ها است، به طوری که اثر افت فشار مجاز هم در آن لحاظ شده باشد. جهت کسب ضریب



شکل ۱. نحوه توزیع فشار برای یک لوله فرعی افقی

جدول ۱. قدر نسبت تصاعد هندسی ( $c$ ) به ازای مقادیر مختلف  $\Delta P$

$C$				تعداد آبپاش ( $N$ )
$\Delta P=0/05$	$\Delta P=0/1$	$\Delta P=0/15$	$\Delta P=0/2$	
۰/۹۹۳۹۲	۰/۹۸۸۱۶	۰/۹۸۲۶۸	۰/۹۷۷۴۷	۵
۰/۹۹۷۲۹	۰/۹۹۴۷۲	۰/۹۹۲۲۷	۰/۹۸۹۹۲	۱۰
۰/۹۹۸۲۶	۰/۹۹۶۶۰	۰/۹۹۵۰۲	۰/۹۹۳۵۱	۱۵
۰/۹۹۸۷۲	۰/۹۹۷۴۹	۰/۹۹۶۳۳	۰/۹۹۵۲۱	۲۰
۰/۹۹۸۹۸	۰/۹۹۸۰۲	۰/۹۹۷۰۹	۰/۹۹۶۲۱	۲۵
۰/۹۹۹۱۶	۰/۹۹۸۳۶	۰/۹۹۷۵۹	۰/۹۹۶۸۶	۳۰
۰/۹۹۹۲۸	۰/۹۹۸۶۰	۰/۹۹۷۹۵	۰/۹۹۷۳۲	۳۵
۰/۹۹۹۳۷	۰/۹۹۸۷۸	۰/۹۹۸۲۱	۹۹۷۶۷	۴۰
۰/۹۹۹۴۵	۰/۹۹۸۹۲	۰/۹۹۸۴۱	۰/۹۹۷۹۳	۴۵
۰/۹۹۹۵۰	۰/۹۹۹۰۳	۰/۹۹۸۵۷	۰/۹۹۸۱۴	۵۰
۰/۹۹۹۵۵	۰/۹۹۹۱۲	۰/۹۹۸۷۱	۰/۹۹۸۳۱	۵۵
۰/۹۹۹۵۹	۰/۹۹۹۱۹	۰/۹۹۸۸۲	۰/۹۹۸۴۶	۶۰
۰/۹۹۹۶۲	۰/۹۹۹۲۶	۰/۹۹۸۹۱	۰/۹۹۸۵۸	۶۵
۰/۹۹۹۶۵	۰/۹۹۹۳۱	۰/۹۹۸۹۹	۰/۹۹۸۶۸	۷۰
۰/۹۹۹۶۷	۰/۹۹۹۳۶	۰/۹۹۹۰۶	۰/۹۹۸۷۷	۷۵
۰/۹۹۹۶۹	۰/۹۹۹۴۰	۰/۹۹۹۱۲	۰/۹۹۸۸۵	۸۰
۰/۹۹۹۷۱	۰/۹۹۹۴۳	۰/۹۹۹۱۷	۰/۹۹۸۹۲	۸۵
۰/۹۹۹۷۳	۰/۹۹۹۴۶	۰/۹۹۹۲۲	۰/۹۹۸۹۸	۹۰
۰/۹۹۹۷۴	۰/۹۹۹۴۹	۰/۹۹۹۲۶	۰/۹۹۹۰۳	۹۵
۰/۹۹۹۷۵	۰/۹۹۹۵۲	۰/۹۹۹۲۹	۰/۹۹۹۰۸	۱۰۰

معادله محاسبه افت اصطکاکی در لوله‌ها برابر است با:

$$H_f = TD^n L Q^m \quad [9]$$

که در آن  $H_f$  مقدار کل افت اصطکاکی،  $T$  ضریبی است که بستگی به معادله افت مورد استفاده دارد،  $D$  قطر لوله،  $L$  طول لوله،  $Q$  دبی ورودی به لوله و  $n$  و  $m$  به ترتیب توان‌های قطر و دبی در معادله هستند. از نظر عددی،  $n$  و  $m$  در معادله هیزن-ویلیامز به ترتیب مقادیر  $4/871$  و  $1/852$  و در معادله دارسی-ویسباخ مقادیر  $5$  و  $2$  را اتخاذ می‌نمایند.

کریستین سن (۶) جهت محاسبه میزان افت اصطکاکی در لوله‌های آبیاری پیشنهاد نمود ضریبی به نام  $F$  در معادله افت ضرب شود. در ادامه، به محاسبه ضریب  $F$  با در نظر گرفتن دبی متفاوت برای آبپاش‌ها پرداخته می‌شود. اگر در معادله  $9$  مقدار  $TD^n$  برابر ثابت  $\rho$  فرض شود، میزان افت اصطکاک برای هر بخش از لوله فرعی (فاصله بین دو آبپاش متوالی) برابر است با:

$$\begin{aligned} h_{f_1} &= \rho x l Q^m \\ h_{f_2} &= \rho l (Q - qc)^m \\ h_{f_3} &= \rho l (Q - qc - qc^2)^m \\ h_{f_{N-1}} &= \rho l \left( Q - \frac{qc(1-c^{N-2})}{1-c} \right)^m \\ h_{f_N} &= \rho l \left( Q - \frac{qc(1-c^{N-1})}{1-c} \right)^m \end{aligned} \quad [10]$$

میزان کل افت اصطکاکی لوله برابر مجموع افت‌های اصطکاکی هر بخش از آن است. به عبارتی:

$$H_f = h_{f_1} + h_{f_2} + \dots + h_{f_{N-1}} + h_{f_N} = \rho \left[ x Q^m + \sum_{i=1}^{N-1} \left( Q - \frac{qc(1-c^i)}{1-c} \right)^m \right] \quad [11]$$

مقدار کل دبی لوله برابر مجموع دبی آبپاش‌هاست. بنابراین:

$$\begin{aligned} Q &= qc + qc^2 + \dots + qc^{N-1} \\ + qc^N &= \frac{qc(1-c^N)}{1-c} \end{aligned} \quad [12]$$

با جایگزینی معادله ۱۲ در معادله ۱۱، معادله ۱۳ به دست می‌آید:

$$H_f = \rho l \left( \frac{qc}{1-c} \right)^m \left\{ x(1-c^N)^m + \sum_{i=1}^{N-1} (c^i - c^N)^m \right\} \quad [13]$$

میزان کل افت اصطکاکی را می‌توان براساس روش کریستین سن (۶) با ضرب نمودن ضریب  $F$  در معادله افت به دست آورد. در اینجا ذکر این نکته ضروری است که ضریب  $F$  کریستین سن برای حالتی ارائه شده که فاصله اولین آبپاش از دهانه ورودی لوله برابر فاصله آبپاش‌ها از همدیگر باشد. با توجه به این که در این تحقیق فاصله اولین آبپاش از دهانه ورودی لوله دلخواه در نظر گرفته شده است این فاکتور  $F_a$  فرض می‌شود. طبیعی است که به ازای  $x=1$  مقدار  $F_a$  به دست آمده قابل مقایسه با ضریب کریستین سن خواهد بود. بدین ترتیب معادله ۹ با جایگزینی از معادله ۱۲ به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\begin{aligned} H_f &= F_a T L D^n Q^m \\ &= \rho F_a (N-1+x) l \left( \frac{qc(1-c^N)}{1-c} \right)^m \end{aligned} \quad [14]$$

نهایتاً با مساوی قرار دادن معادلات ۱۳ و ۱۴ مقدار ضریب  $F_a$  به صورت زیر به دست می‌آید:

$$F_a = \frac{x(1-c^N)^m + \sum_{i=1}^{N-1} (c^i - c^N)^m}{(N-1+x)(1-c^N)^m} \quad [15]$$

اسکالویی (۱۶) نیز معادله‌ای برای محاسبه  $F_a$  با فرض دبی ثابت برای آبپاش‌ها ارائه کرده است. مقایسه بین نتایج به دست آمده از معادله ۱۵ و نتایج اسکالویی (۱۶) در جدول ۲ خلاصه شده است ( $m=2$  و  $\Delta P=0/1$ ). جدول ۲ نشان می‌دهد که هرچه تعداد آبپاش‌ها بیشتر شده و قدر نسبت تصاعد ( $c$ ) به عدد یک نزدیک‌تر شده، ضریب  $F_a$  ارائه داده شده توسط اسکالویی (۱۶) به نتایج معادله ۱۵ نزدیک‌تر و میزان خطا کمتر شده است.

ب) محاسبه فشار ورودی لوله

با در نظر گرفتن شکل ۱ می‌توان نوشت:

جدول ۲. مقادیر ضریب  $F_a$  به ازای سه مقدار متفاوت  $x$  و  $\Delta P=0/1$  و  $m=2$

$x=1$			$x=\frac{2}{3}$			$x=0/5$			N
خطا	معادله ۱۵	اسکالویی (۱۶)	خطا	معادله ۱۵	اسکالویی (۱۶)	خطا*	معادله ۱۵	اسکالویی (۱۶)	
۰/۰۰۰۵۹	۰/۶۱۹۱	۰/۶۲۵۰	۰/۰۰۰۷۱	۰/۵۴۲۹	۰/۵۵۰۰	۰/۰۰۰۷۸	۰/۴۹۲۲	۰/۵۰۰۰	۲
۰/۰۰۰۵۲	۰/۵۱۳	۰/۵۱۸۵	۰/۰۰۰۵۹	۰/۴۵۲۴	۰/۴۵۸۳	۰/۰۰۰۶۳	۰/۴۱۵۹	۰/۴۲۲۲	۳
۰/۰۰۰۵۰	۰/۴۶۳۸	۰/۴۶۸۸	۰/۰۰۰۵۴	۰/۴۱۵۱	۰/۴۲۰۵	۰/۰۰۰۵۷	۰/۳۸۷۲	۰/۳۹۲۹	۴
۰/۰۰۰۴۷	۰/۴۳۵۳	۰/۴۴۰۰	۰/۰۰۰۵۱	۰/۳۹۴۹	۰/۴۰۰۰	۰/۰۰۰۵۳	۰/۳۷۲۵	۰/۳۷۷۸	۵
۰/۰۰۰۴۴	۰/۳۸۰۶	۰/۳۸۵۰	۰/۰۰۰۴۵	۰/۳۵۹۳	۰/۳۶۳۸	۰/۰۰۰۴۵	۰/۳۴۸۱	۰/۳۵۲۶	۱۰
۰/۰۰۰۴۲	۰/۳۵۴۶	۰/۳۵۸۸	۰/۰۰۰۴۲	۰/۳۴۳۷	۰/۳۴۷۹	۰/۰۰۰۴۳	۰/۳۳۸۰	۰/۳۴۲۳	۲۰
۰/۰۰۰۴۰	۰/۳۳۹۴	۰/۳۴۳۴	۰/۰۰۰۴۱	۰/۳۳۴۹	۰/۳۳۹۰	۰/۰۰۰۴۱	۰/۳۳۲۷	۰/۳۳۶۸	۵۰
۰/۰۰۰۳۹	۰/۳۳۴۴	۰/۳۳۸۳	۰/۰۰۰۴۰	۰/۳۳۲۱	۰/۳۳۶۱	۰/۰۰۰۴۰	۰/۳۳۱۰	۰/۳۳۵۰	۱۰۰

\*: میزان خطا برابر است با تفاوت بین  $F_a$  اسکالویی و معادله ۱۶

با در نظر گرفتن معادله ۱۰ می توان آن را به صورت زیر نوشت:

$$h_{f_i} = \rho l \left( \frac{qc}{1-c} \right)^m (c^{i-1} - c^N)^m \quad [20]$$

با جایگزینی معادله ۲۱ در معادله ۲۰ معادله زیر به دست می آید:

$$H_{f_{AVG}} = \left\{ \frac{\rho l}{N} \left( \frac{qc}{1-c} \right)^m \right\} \times \sum_{i=2}^N (i-1)(c^{i-1} - c^N)^m \quad [21]$$

با جایگزینی معادلات ۱۳ و ۲۱ در معادله ۳ مقدار متوسط ضریب تصحیح  $F_{a_{AVG}}$  برای حالتی که اولین آبپاش به فاصله دلخواه از دهانه ورودی قرار دارد به دست می آید:

$$F_{a_{AVG}} = \frac{\sum_{i=2}^N (i-1)(c^{i-1} - c^N)^m}{N(x(1-c^N)^m + \sum_{i=1}^{N-1} (c^i - c^N)^m)} \quad [22]$$

و در نهایت، با قرار دادن معادله ۸ در معادله ۲۲ رابطه  $F_{a_{AVG}}$  و تعداد آبپاش ها، افت فشار، ضریب فاصله اولین آبپاش از ابتدای لوله و توان  $m$  به دست می آید:

$$H_{f_1} = h_{f_2} + h_{f_3} + h_{f_4} + \dots + h_{f_N}$$

$$H_{f_2} = h_{f_3} + h_{f_4} + h_{f_5} + \dots + h_{f_N}$$

$$H_{f_{N-3}} = h_{f_{N-2}} + h_{f_{N-1}} + h_{f_N}$$

$$H_{f_{N-2}} = h_{f_{N-1}} + h_{f_N}$$

$$H_{f_{N-1}} = h_{f_N}$$

[۱۶]

با قرار دادن جملات رابطه ۱۶ در معادله ۴ داریم:

$$H_{f_{AVG}} = \frac{1}{N} \{ (h_{f_2} + h_{f_3} + \dots + h_{f_N}) + (h_{f_3} + h_{f_4} + \dots + h_{f_N}) + \dots + h_{f_N} \}$$

[۱۷]

از آنجا که معادله ۱۷ شامل  $N-1$  عبارت است می توان آن را به صورت زیر خلاصه نمود:

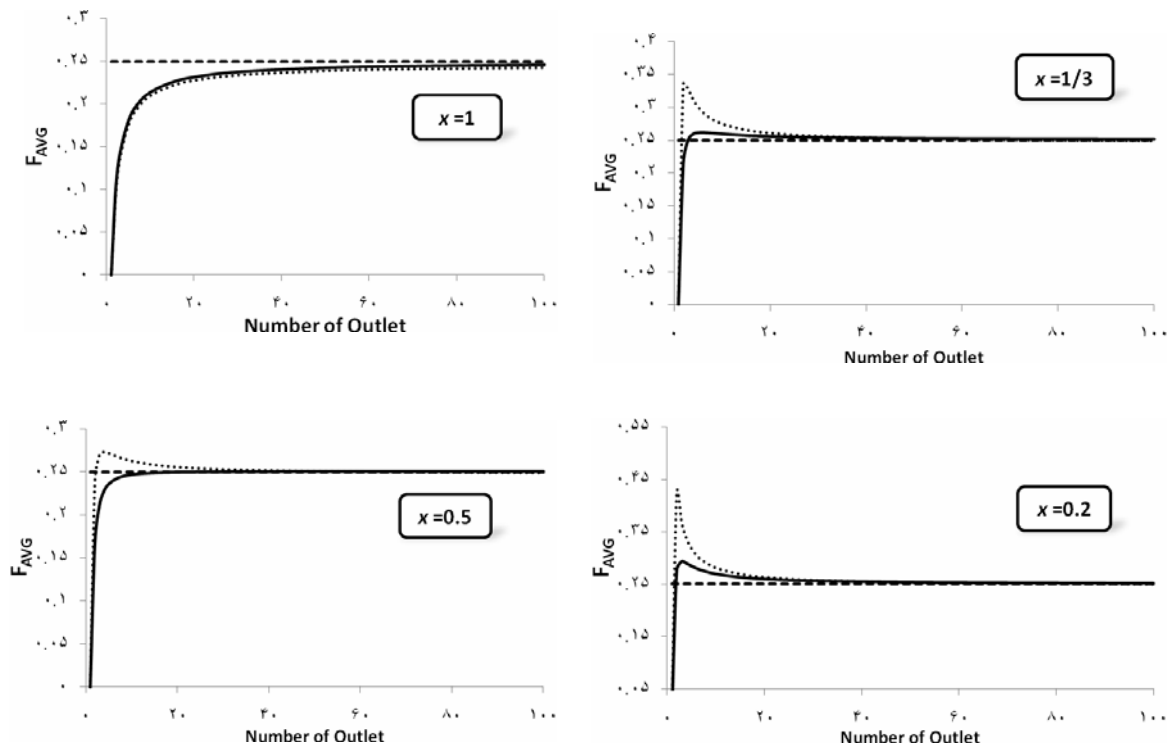
$$H_{f_{AVG}} = \frac{1}{N} \{ h_{f_2} + 2h_{f_3} + 3h_{f_4} + \dots + (N-2)h_{f_{N-1}} + (N-1)h_{f_N} \}$$

[۱۸]

بنابراین:

$$H_{f_{AVG}} = \frac{1}{N} \sum_{i=2}^N (i-1)h_{f_i} \quad [19]$$

که در آن  $h_{f_i}$  افت فشار اصطکاکی بخش  $i$ ام لوله فرعی بوده و



شکل ۲. مقایسه نتایج عددی معادله ۲۳ (نقطه چین) با نتایج ضریب متوسط اصلاح شده انور (خط پر) و کلر و بلیسنر (خط چین)

شکل ۲ به ازای حداکثر افت فشار مجاز (۲۰٪) در طول لوله فرعی رسم شده‌اند. از آنجا که معمولاً در طراحی‌ها افت فشار کمتر از ۲۰٪ می‌باشد، بنابراین نمودارهای ارائه شده به هم نزدیک‌تر خواهند شد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که برای این نوع طراحی‌ها می‌توان از تأثیر افت فشار در طول لوله بر فشار مورد نیاز در دهانه ورودی لوله چشم پوشی کرد. به عنوان یک نتیجه مهم، شکل ۲ هم‌چنین نشان می‌دهد در صورتی که فاصله اولین آبپاش از دهانه ورودی لوله برابر فاصله آبپاش‌ها از یکدیگر نباشد، به ازای  $N < 15$  ضریب  $F_{aAVG}$  تفاوت قابل توجهی با ضریب پیشنهادی انور (۵) دارد. در واقع در این حالت، در نظر گرفتن دبی ثابت برای تمامی آبپاش‌ها سبب تخمین کمتر از واقع ضریب  $K$  و در نتیجه تخمین بیشتر از اندازه فشار ورودی به لترال می‌شود. بنابراین در این حالت استفاده از معادله ۲۳ بر معادله انور ارجحیت دارد. لازم به ذکر است که از آنجا که معادله ۲۳ به ازای  $N=1$  تعریف نشده

$$F_{aAVG} = \frac{\sum_{i=2}^N \left[ (i-1) \left( (1+\Delta P)^{\frac{i-1}{2-2N}} - (1+\Delta P)^{\frac{N}{2-2N}} \right)^m \right]}{N \left\{ x \left[ 1 - (1+\Delta P)^{\frac{N}{2-2N}} \right]^m + \sum_{i=1}^{N-1} \left[ (1+\Delta P)^{\frac{i}{2-2N}} - (1+\Delta P)^{\frac{N}{2-2N}} \right]^m \right\}} \quad [23]$$

### نتیجه گیری

ضریب  $F_{aAVG}$  محاسبه شده توسط معادله ۲۳ برای  $\Delta P = 0.2$ ،  $m=2$  و  $x$  های مختلف در برابر ضریب پیشنهاد شده توسط انور (۵) در شکل ۲ ارائه شده‌است. این شکل نشان می‌دهد که برای تمام حالت‌ها و با افزایش تعداد آبپاش‌ها، ضریب پیشنهاد شده به عدد ۰/۲۵ ارائه شده توسط کلر و بلیسنر (۱۴) میل می‌کند. هم‌چنین ملاحظه می‌شود که نمودارها همواره نزدیک به نمودار ارائه شده توسط انور (۵) هستند. توجه کنید که نمودارهای

جدول ۳. مقایسه مقادیر نهایی  $F_{aAVG}$  حاصل از معادله ۲۳ و سایر محققین به ازای مقادیر مختلف  $\Delta P$  و  $x=1$ 

توان پارامتر سرعت (m)	مقدار $F_{aAVG}$ از معادله ۲۳				انور (۵) N = 500	اسکالویی و آلن (۱۷) N = ∞
	N = 500					
	$\Delta P = 0/2$	$\Delta P = 0/15$	$\Delta P = 0/1$	$\Delta P = 0/05$		
۱/۰۰	۰/۳۳۰۱	۰/۳۳۰۷	۰/۳۳۱۳	۰/۳۳۲۰	۰/۳۳۲۷	۰/۳۳۳۳
۱/۷۵	۰/۲۶۲۶	۰/۲۶۳۴	۰/۲۶۴۲	۰/۲۶۵۱	۰/۲۶۵۹	۰/۲۶۶۶
۱/۸۵۲	۰/۲۵۵۵	۰/۲۵۶۳	۰/۲۵۷۱	۰/۲۵۸۰	۰/۲۵۸۹	۰/۲۵۹۶
۱/۹۰	۰/۲۵۲۳	۰/۲۵۳۱	۰/۲۵۳۹	۰/۲۵۴۸	۰/۲۵۵۷	۰/۲۵۶۴
۲/۰۰	۰/۲۴۵۸	۰/۲۴۶۶	۰/۲۴۷۵	۰/۲۴۸۳	۰/۲۴۹۳	۰/۲۵۰۰

به دست آمده به نتایج کار دیگران بسیار نزدیک است و می توان این چنین نتیجه گرفت که به ازای تعداد زیاد خروجی ها، افت فشار موجود بین دو آبپاش بحرانی قرار گرفته روی لوله فرعی در آبیاری بارانی تأثیر چندانی بر میزان فشار ورودی به آن ندارد.

می باشد، در نمودارها عدد صفر برای آن در نظر گرفته شده است. برای بررسی اثر افت فشار موجود در طول لوله فرعی ( $\Delta P$ ) هنگامی که تعداد آبپاش ها زیاد باشد، مقایسه ای بین نتایج معادله ۲۳ و سایر محققین صورت گرفت که نتایج در جدول ۳ آورده شده است. این مقایسه نشان می دهد حد نهایی میزان  $F_{aAVG}$  به ازای تمامی مقادیر  $m$  که در تحقیق حاضر

### منابع مورد استفاده

۱. شاه محمدی، ر.، س. م. میرلطیفی و ک. محمدی. ۱۳۸۶. شبیه سازی هیدرولیکی لوله های فرعی (ترال های) آبیاری بارانی. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۱۱(۴۰): ۳۹-۵۱.
2. Abreu, V. M. and L. S. Pereira. 2002. Sprinkler irrigation design using ISADim. Proc. of the ASAE Annual International Meeting, Chicago, Illinois, U.S.A., Paper No. 022254.
3. Andrade, C. L. T. and R. G. Allen. 1999. SPRINKMOD- pressure and discharge simulation model for pressurized irrigation systems: 1. Model development and description. Irrig. Sci. 18: 141-148.
4. Anwar, A. A. 2000a. Inlet pressure for tapered horizontal laterals. ASCE, J. Irrig. Drain. Eng. 126(1): 57-63.
5. Anwar, A. A. 2000b. Adjusted average correction factor for sprinkler laterals. ASCE, J. Irrig. Drain. Eng. 126(1): 296-303.
6. Christiansen, J. E. (1942). Irrigation by sprinkling. Calif. Agric. Expt. Sta. Bull. No. 670, University of California, Davis, CA.
7. Edwards, D. M. and B. Spencer. 1972. Design criteria for irrigation systems with complex pipe loops. Trans. ASAE 15: 76-78.
8. Hathoot, H. M., A. I. Al-Amoud and F. S. Mohammad. 1993. Analysis and design of trickle-irrigation laterals. ASCE, J. Irrig. Drain. Eng. 119(5): 756-767.
9. Hathooth, H. M., H. M. Abo-Ghobar, A. I. Al-Amoud and F. S. Mohammad. 1994. Analysis and design of sprinkler irrigation laterals. ASCE, J. Irrig. Drain. Eng. 120: 534-549.
10. Hutchinson, G. P., P. Carran and I. McInodoe. 1993. IRRICAD- Computerized irrigation design. Proc. of the ASCE National Conference on Irrigation and Drainage Engineering, Park city, Utah, U.S.A, pp. 835-841.



11. Jorge, J. and L. S. Pereira. 2003. Simulation and evaluation of set sprinkler systems with AVASPER. Proc. of the 54th Executive Council of ICID and 20th European Regional Conference, Montpellier, France.
12. Kang, Y. and S. Nishiyama. 1996a. Analysis and design of microirrigation laterals. ASCE, J. Irrig. Drain. Eng. 122(2): 75-82.
13. Kang, Y. and S. Nishiyama. 1996b. Design of microirrigation submain units. ASCE, J. Irrig. Drain. Eng. 122(2): 83-89.
14. Keller, J. and R. D. Bliesner. 1990. Sprinkle and Trickle Irrigation. Chapman & Hall, New York.
15. Pleban, S. and I. Amir. 1981. Design procedure of sprinkling laterals: The mathematical background of a computerized aid. Agric. Water Manage. 3: 269-278.
16. Scaloppi, E. J. 1988. Adjusted F factor for multiple-outlet pipes. ASCE, J. Irrig. Drain. Eng. 114(1): 169-174.
17. Scaloppi, E. J. and R. G. Allen. 1993. Hydraulics of irrigation laterals: Comparative analysis. ASCE, J. Irrig. Drain. Eng. 119(1): 91-115.
18. Valiantzas, J. D. 1998. Analytical approach for direct drip lateral hydraulic calculation. ASCE, J. Irrig. Drain. Eng. 124(6): 300-305.
19. Valiantzas, J. D. 2002. Continuous outflow variation along irrigation laterals: Effect of the number of outlets. ASCE, J. Irrig. Drain. Eng. 128(1): 34-42.
20. Vallesquino, P. 2008. An approach for simulating the hydraulic performance of irrigation laterals. Irrig. Sci. 26: 475-486.
21. Vallesquino, P. and Luque-Escamilla, P. L. 2001. New algorithm for hydraulic calculation in irrigation laterals. ASCE, J. Irrig. Drain. Eng. 127(4): 254-260.
22. Vallesquino, P. and P. L. Luque-Escamilla. 2002. Equivalent friction factor method for hydraulic calculation in irrigation laterals. ASCE, J. Irrig. Drain. Eng. 128(5): 278-286.
23. Warrick, A. W. and M. Yitayew. 1988. Trickle lateral hydraulics. I: Analytical solution. ASCE, J. Irrig. Drain. Eng. 114(2): 281-288.
24. Yildirim, G. 2007. Analytical relationships for designing multiple outlets pipelines. ASCE, J. Irrig. Drain. Eng. 133(2): 140-154.
25. Yitayew, M. and A. W. Warrick. 1988. Trickle lateral hydraulics. II: Design and examples. ASCE, J. Irrig. Drain. Div. 114(2): 289-300.
26. Zazueta, F. S., A. G. Smajstrla and D. Z. Haman. 1989. Computer-aided design of landscape irrigation systems. Appl. Agric. Res. 4: 280-284.

## Calculating Inlet Pressure for Multi-Outlet Horizontal Irrigation Laterals Considering Variable Outflow in Outlets

S. H. Sadeghi, S. F. Mousavi\* and M. Heidarpour<sup>1</sup>

(Received : Apr. 13-2010 ; Accepted : Oct. 21-2011)

### Abstract

Precise calculation of inlet pressure into sprinkler laterals is an important problem for proper distribution of uniformity. The adjusted average friction correction factor,  $F_{aAVG}$ , provides the possibility of calculating the inlet pressure to multi-outlet pressurized irrigation pipelines when the first outlet spacing from the pipe entrance is arbitrary. To investigate the effect of allowable head-loss in the lateral pipeline on inlet pressure, a new equation was developed for calculating this factor. A progression coefficient was assumed for variable discharge of the outlets. The results showed that though the inlet pressure of the lateral depends on the head loss between the outlets, it is negligible when more than 15 outlets are used. It was also concluded that when  $N$  is less than 15 and the ratio of distance between inlet and first outlet to outlet spacing is less than 1, the conventional approaches overestimate the inlet pressure. In this research, a new equation was also developed for Christiansen friction factor in which the first outlet is located at a fraction of outlet spacing. This new factor is dependent on the head loss between the first and last outlets, in addition to the number of outlets and the power of velocity equation. The results of applying this new factor showed good correlation with other researchers' numerical results when a large number of outlets are coalesced.

**Keywords:** Friction loss, Christiansen factor, Lateral, Sprinkler irrigation.

---

1. Former MSc. Student and Prof.s of Water Eng., Respectively, College of Agric., Isf. Univ. Technol., Isfahan, Iran.

\*: Corresponding Author, Email: mousavi@cc.iut.ac.ir