

## هيدروليكا نظم الري بالرش والري الدقيق

ديريل ل. مارتن (جامعة نبراسكا، لينكولن، نبراسكا)  
ديل ف. هيرمان (USDA-ARS، فورت كولجر، كلورادو)  
مارك ماديسون (CH2M هيل، بورتلاند، أوريغون)

ملخص: يعرض هذا الفصل ويناقش الخصائص الهيدروليكية لنظم الري مغلقة الأنابيب واللازمة لتصميم نظم الري بالرش والري الدقيق، وسيعرض كثيراً من المعادلات الشائعة لحساب فاقد ضاغط الاحتكاك في النظم مغلقة الأنابيب. وهناك تأكيد على صحة وقيود الطرق المستخدمة، وعرض لمناقشة صمامات نظم الري واستخدامها الصحيح لتصميم النظم مغلقة الأنابيب التي يتم تصريفها وإعادة ملئها على نحو متكرر أثناء التشغيل، وسيتم أيضاً ذكر دور توزيع المياه في التربة لتحسين الانتظامية.

الكلمات الأساسية: صمامات تنفيس الهواء والبخار، فحص الصمامات، مقاومة الاحتكاك، فاقد الضاغط، صمامات التحكم في الري، فاقد الاحتكاك في الأنابيب، معايير تصميم الخط الفرعي، صمامات النبض.

## (١٥,١) مقدمة

تعد ديناميكا الموائع في نظم الري بالرش ونظم الري الدقيق معقدة، فالمياه تتحرك ديناميكياً من مصدر المياه عبر المضخة إلى شبكة الأنابيب. وغالباً ما تسير المياه عبر سلسلة من المصافي والمرشحات اعتماداً على مصدر ونوع نظام الري. ومن شبكة الأنابيب، تتدفق المياه تحت ضغط إلى نظام الرش ومن خلال فوهة الرشاش إلى الهواء بسرعة عالية حيث تنفتت إلى قطرات وتسقط على التربة أو سطح المحصول ويعاد توزيعها. وتركب الرشاشات على ارتفاعات متعددة مع كثير من أنواع الفوهات التي تواجه ضغطاً معاكساً وسرعات رياح مضادة. ويؤدي تنوع ظروف التشغيل إلى مدى كبير من أحجام القطرات، فعندما تغذي شبكة الري المياه إلى الري الدقيق تنصرف المياه عبر المنقطات الموضوعة على السطح أو المدفونة في التربة. وفي هذا الفصل، نناقش التدفق داخل شبكة الأنابيب المغلقة إما إلى رشاش الري بالرش أو منقط الري الدقيق، وسيتم مناقشة أهمية إعادة التوزيع على السطح وفي التربة، ومع التأكيد على اعتبارات التصميم العامة ولتركيز محدود على التشغيل. ويقدم الفصلان السادس عشر، والسابع عشر إجراءات مفصلة لتصميم وتشغيل نظم الري بالرش ونظم الري الدقيق.

## (١٥,٢) هيدروليكا نظم الأنابيب

تتكون نظم الري التي تعمل بالضغط من الخطوط الرئيسية التي تقوم بنقل الماء المتدفق بأكمله من مصدر المياه إلى خطوط الأنابيب الفرعية في الحقل. ويتفرع بعض من التدفق المار في الخط الرئيس إلى الخطوط الفرعية الذي يوجه التصرف إلى المنقطات التي تقوم بتبليل مساحة التربة التي تقع عليها، أو إلى الرشاش، أو إلى الفوهات، التي تقوم بتوجيه التيار المتدفق إلى الهواء. وإن فواقد الطاقة في الخط الرئيس الناتجة عن

مقاومة السطح يمكن حسابها مع التدفق المنتظم، بينما تتطلب الخطوط الفرعية والمخارج التي يجري فيها التدفق المتفرع تحليل تدفق غير منتظم ناتجاً عن مقاومة السطح ويسبب الفواقد.

(١٥,٢,١) فواقد الطاقة في الأنابيب والوصلات

إن معادلة دارسي-ويسباك، التي تمت مناقشتها في الفصل الحادي عشر، يوصى بها لحساب فواقد الطاقة في الأنابيب، ومعادلة دارسي-ويسباك للتدفق في الأنابيب الدائرية تُعطى بالمعادلة:

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} = \left( \frac{8f}{\pi^2 g} \right) \frac{LQ^2}{D^5} \quad (١٥,١)$$

حيث إن:

$h_f$  = فاقد الضاغط، م.

$f$  = معامل دارسي-ويسباك للمقاومة.

$L$  = طول الأنبوب، م.

$D$  = القطر الداخلي للأنبوب، م.

$V$  = السرعة، م/ث.

$Q$  = التصرف في الأنبوب، م<sup>٣</sup>/ث.

$g$  = عجلة الجاذبية، ٩,٨١ م/ث<sup>٢</sup>.

ومعامل المقاومة ( $f$ )، ويُطلق عليه أيضاً معامل الاحتكاك، دالة في الخشونة النسبية ( $e/D$ ) ورقم رينولد ( $R_o$ ). ويعد ارتفاع الخشونة المطلقة ( $e$ ) ثابتاً بالنسبة لمادة أنبوبة ما، ومعامل المقاومة متجانس بعدياً ويمكن تمثيله لمعظم المواد التجارية عن طريق المعادلة شبه التجريبية كما يلي:

$$(١٥,٢) \quad \frac{1}{\sqrt{f}} = 1.14 - 2 \log \left( \frac{e}{D} + \frac{9.35}{R_e \sqrt{f}} \right)$$

حيث إن:

$e$  = الخشونة المطلقة لداخل الأنبوب، مم.

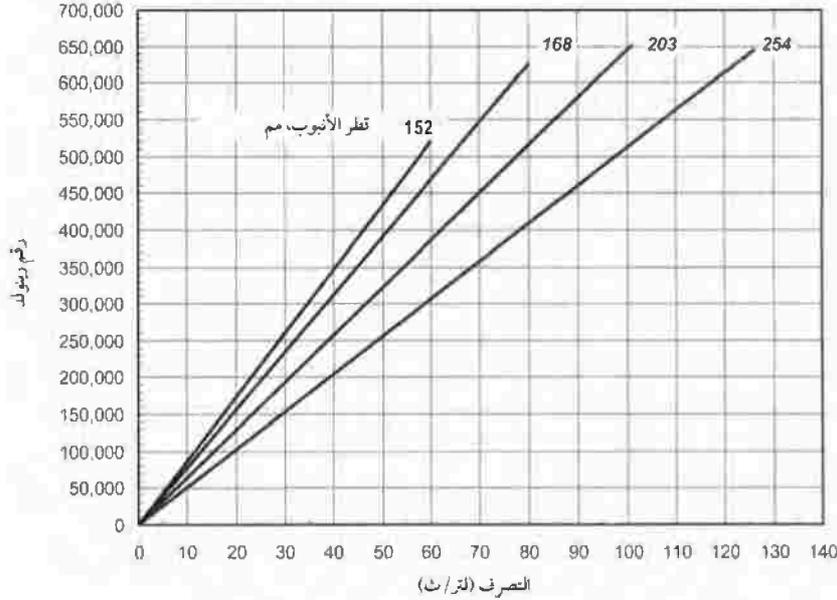
$R_e$  = رقم رينولد ( $VD/v$ ).

$v$  = اللزوجة الكينماتيكية، م<sup>٢</sup>/ث.

ومتوسط سرعة السريان تساوي التصرف مقسوماً على مساحة المقطع العرضي وبهذا رقم رينولد في حالة الأنابيب الدائرية التي يكون تدفقها كاملاً (مملوءة كلياً) يمكن حساب من:

$$(١٥,٣) \quad R_e = 1.273 \times 10^6 Q/D$$

حيث إن:  $Q$  التصرف مقاساً بوحدة لتر/ث،  $D$  القطر الداخلي للأنبوب بوحدة مم. واللزوجة الكينماتيكية تساوي  $1.0 \times 10^{-6}$  م<sup>٢</sup>/ث، عند درجة حرارة ٢٠ مئوية. ويقع رقم رينولد بشكل عام بين ٣٠٠,٠٠٠ و ٧٠٠,٠٠٠ عند مدخل نظام الري المحوري أو نظام الحركة المستقيمة المصممة بسعات نظام نموذجية (الشكل رقم ١٥,١)، ويقل رقم رينولد على امتداد طول الخط الفرعي نتيجة خروج المياه من خلال الفوهات أو المنقطات. ويجب أن يكون التصرف في المحور المركزي عند نقطة تبعد ٩٠٪ من طول الخط الفرعي حوالي ٢٠٪ من التصرف الداخل إلى النظام، ولهذا، يتجاوز رقم رينولد ٥٠,٠٠٠ لمعظم الخطوط الفرعية للنظام المحوري التي لها سعات نموذجية. يكون رقم رينولد لكثير من أنواع الري الدقيق والأنواع الأخرى من نظم الري بالرش عادة أقل مما هو بالنسبة للري المحوري. ويكون للأنابيب ذات القطر الكبير المستخدمة في الخطوط الرئيسة أرقام رينولد أكبر من الموضحة في الشكل رقم (١٥,١).



الشكل رقم (١٥، ١). رقم رينولد بالنسبة للأنابيب النمطية في نظم الري المحوري ونظم الحركة المستقيمة.

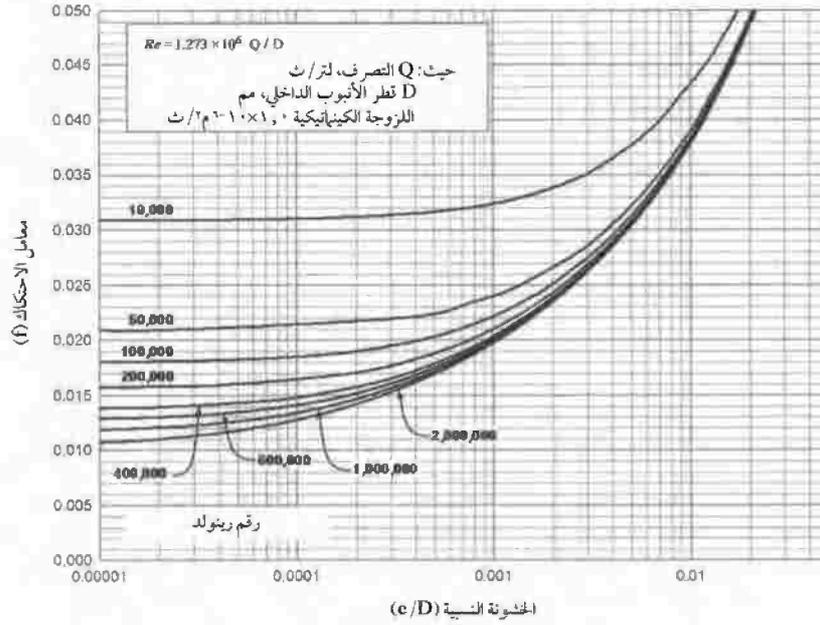
ومعامل المقاومة عديم الأبعاد (لابعدي) وهو متجانس مع الوحدات المعتادة (القدم-باوند) أو الوحدات المترية، ولكن لا بد من حل المعادلة رقم (١٥، ٢) بشكل تكراري. ويعطي الجدول رقم (١٥، ١) قيم الخشونة في حجم حبيبات الرمل المكافئة لحساب معامل الاحتكاك لأنواع الأنابيب المختلفة، وهناك أشكال بيانية عامة للمقاومة لحساب معامل الاحتكاك متاحة في معظم كتب ميكانيكا الموائع، ويوضح في الشكل رقم (١٥، ٢) قيم معامل المقاومة النمطية لنظم الري.

ويختلف معامل المقاومة (معامل الاحتكاك) على امتداد طول الخطوط الفرعية لنظم الري بالرش أو الري الدقيق. وتعتمد الخشونة النسبية على نعومة الأنبوب وقطره الداخلي، بالتالي تكون الخشونة النسبية ثابتة في حالة أنبوب ما، ولكن التصرف يتناقص في الخطوط الفرعية على امتداد طول الخط. فعلى سبيل المثال، بافتراض نظام ري محوري

له خط فرعي من الفولاذ المجلفن قطره الداخلي ١٦٣ مم، فالخشونة (e) تبلغ حوالي ٠,١١ مم حيث إن الخشونة النسبية (e/D) من الجدول رقم (١٥,١) تساوي ٠,٠٠٠٦٨. وإذا تم تصميم الخط المحوري لاستيعاب تصرف قدره ٥١ لتر/ث فسوف يكون رقم رينولد عند المدخل حوالي ٤٠٠,٠٠٠. ويبلغ معامل الخشونة عند مدخل الخط الفرعي حوالي ٠,٠١٩ (الشكل رقم ١٥,٢). وعند نقطة ٩٠٪ من المسار على امتداد طول الخط الفرعي يجب أن يكون التدفق حوالي ٢٠٪ من التدفق الداخل إلى الخط الفرعي بما يجعل رقم رينولد يساوي تقريباً ٨٠,٠٠٠ مما يؤدي إلى معامل مقاومة قدره ٠,٠٢٢. وهذا يمثل تغيراً يبلغ تقريباً ١٦٪ في معامل المقاومة على امتداد طول الخط الفرعي، ويوضح الشكل رقم (١٥,٢) أن معامل المقاومة يختلف أيضاً مع قطر الأنبوب. فإذا تدفق تصرف حوالي ٥١ لتر/ث في الخط الفرعي لنظام المحوري قطره ٢٥٤ مم كما في المثال المذكور سابقاً فإن الخشونة النسبية سوف تكون حوالي ٠,٠٠٠٤٣ وسوف ينخفض معامل المقاومة إلى ٠,٠١٨ ويكون رقم رينولد قدره ٢٦٠,٠٠٠.

الجدول رقم (١٥,١). قيم الخشونة e (حجم حبيبات الرمل المكافئة) لمواد الأنابيب لحساب معامل احتكاك دارسي-ويسباك ومعامل الخشونة C بالنسبة لمعادلة هيزن-ويليام (مقتبس من Albertson et al., 1960، و Meadows and Walski, 1998).

C	e (مم)	المادة
١٢٥ - ١١٥	٠,٣٠ - ٠,١٠	الألومنيوم مع وصلات بمسافات قدره ٩,٢ م
١٤٥ - ١٣٥	٠,٠٠٢٥ - ٠,٠٠١٥	أسمنت الأسبستوس
١٤٥ - ١٣٥	٠,٠٩ - ٠,٠٣	الفولاذ التجاري أو الحديد المطاوع
١٤٠ - ١٠٠	٣,٠٠ - ٠,٢٠	الخرسانة
٦٠ - ٥٥	٦٠,٠ - ٣٠,٠	الأنابيب المعدنية المرصعة
١٣٠ - ١٢٠	٠,٢٥ - ٠,١٠	الحديد المجلفن
١٤٠ - ١٣٠	٠,١٢ - ٠,١٠	الفولاذ المجلفن بالنسبة للنظام المحوري، ذو الحركة المستقيمة
١٥٠ - ١٤٠	٠,٠٥ - ٠,٠٤	الحديد المطاوع الجديد أو الفولاذ المجلد ٤٠ أنبوباً
١٥٠ - ١٤٠	٠,٠٠٢٥ - ٠,٠٠١٥	البلاستيك، البولي اثلين PE وكلوريد البولي فينيل PVC
١١٠ - ١٠٠	٩,٠٠ - ٠,٩٠	الفولاذ المرشم



الشكل رقم (١٥،٢). معامل المقاومة للتدفقات المستخدمة في الري، بناءً على المعادلة (١٥،٢) باستخدام مياه تبلغ درجة حرارتها ٢٠ درجة مئوية.

وبشكل عام فقد يقبل صناع الري صيغاً تجريبية لحساب فواقد الاحتكاك، وتشمل المعادلات شائعة الاستخدام معادلة سكوبي ومعادلة هيوزن-ويليام. وتعطي معادلات هيوزن-ويليام، وسكوبي المذكورة من قبل الآتي:

$$(١٥،٤) \quad h_f = K \frac{LQ^{d_1}}{D^{d_2}}$$

حيث إن:

$h_f$  = الفاقد بالاحتكاك في الأنبوب التي تقوم بنقل التصريف عبر طول الأنبوب، م.

$L$  = طول الأنبوب، م.

$$Q = \text{التصرف، لتر/ث.}$$

$$D = \text{القطر الداخلي للأنبوب، مم.}$$

وتختلف قيمة  $K$  في المعادلتين، ففي حالة معادلة هيزن-ويليام تكون  $K = 1.21 \times 10^{10} C^{1.852}$  حيث  $C$  معامل خشونة الأنبوب، وتكون الأسس معطاة بكل من  $d_1 = 1.852$  و  $d_2 = 4.87$  لمعادلة هيزن-ويليام. وقيم  $C$  النمطية موضحة في الجدول رقم (١٥، ١) للأنواع المختلفة من الأنابيب. أما في حالة طريقة سكوبي تكون  $K = 4.10 \times 10^6 K_s$  حيث  $K_s$  معامل سكوبي وتكون قيمة الأسس  $d_1 = 1.9$  و  $d_2 = 4.9$ .

وتعد المعادلات التجريبية (المعادلة رقم ١٥، ٤) شبيهة الشكل بمعادلة دارسي-ويسباك عندما يتم التعبير عنها بدلالة التصرف. وقد تم حساب قيم الأسس بالنسبة للتصرف وقطر الأنبوب بالنسبة لمعادلة هيزن-ويليام ومعادلة سكوبي من التقييم التجريبي وهي تكون أصغر مما هي في حالة طريقة دارسي-ويسباك. ولكن، الاختلاف الأساسي هو أن معامل الخشونة في حالة معادلة هيزن-ويليام، ومعامل سكوبي، دائماً ما يتم اعتبارهما ثابتين بالنسبة لنوع معين من الأنابيب. وفي الواقع، فإن كل من حجم الأنبوب، ونوع المادة المصنوعة منها، وتصميم الوصلة، واستقامة الأنبوب، والمسافة بين الوصلات تؤثر على مقاومة التصرف. فعادة، بزيادة حجم الأنبوب، تقل المقاومة (أي، يجب أن تزداد قيمة  $C$  في حالة معادلة هيزن-ويليام). وبانخفاض عدد الوصلات، يجب أن تزداد قيمة  $C$ . وإن المواد التي تصنع منها الأنبوب والتي يكون لها سطح داخلي أملس سوف يكون لها مقاومة أقل وقيم  $C$  أعلى بالنسبة لمعادلة هيزن-ويليام. ويعتمد معامل المقاومة بالنسبة لمعادلة دارسي-ويسباك على خشونة الأنبوب، وقطر الأنبوب، ومعدل التصرف، ودرجة حرارة المياه. ومن هنا، يكون لمعادلة دارسي-ويسباك مدى أوسع في التطبيقات أكثر من معادلة هيزن-ويليام أو معادلة سكوبي.

وتم اقتراح معادلات أخرى للفاقد بالاحتكاك لها صيغ مماثلة، حيث قام كللر ويليسنر (1990) Keller and Bliesner بدمج رقم رينولد، ومعادلة دارسي-ويسباك، ومعادلة بلاوسيس لإيجاد دوال شبيهة بمعادلة هيزن-ويليام، ولكن مع الأسس في حالة تصرف تساوي ١,٧٥ بالنسبة للأنابيب البلاستيك التي لها قطر أقل من ١٢٥ مم و١,٨٣ بالنسبة للأنابيب التي لها قطر أكبر من ١٢٥ مم، على الترتيب.

ولابد من استخدام معادلة هيزن-ويليام والمعادلات التجريبية الأخرى بحذر. وقد قام ليو (1998) Liou بتحليل عديد من قواعد البيانات لوضع حدود وقام بالتوصية باستخدام معادلة هيزن-ويليام. وقد أوضح الاختلافات الكبيرة في قيمة C مع رقم رينولد، والخشونة النسبية، وبشكل منفصل القطر أو الخشونة المطلقة للأنبوب. ويمكن أن يكون الخطأ الناتج من تطبيق معادلة هيزن-ويليام خارج مدى المعايرة الخاص بها حوالي ٢٠٪. وهذا الخطأ يشبه الاختلاف في معامل المقاومة على امتداد طول الخط المحوري. ولا يمثل الاختلاف في قطر الأنبوب أخطاء في حالة معادلة دارسي-ويسباك إذا كان يتم استخدام ارتفاع الخشونة الصحيح. وهناك حاجة لاستخدام الجداول والرسوم البيانية الخاصة بالفاقد في الطاقة في حالة معادلة دارسي-ويسباك لتشجيع قبول أكبر في مجال الصناعة.

يمكن حساب الفاقد في الطاقة في الأنبوب ذات الوصلات عن طريق زيادة معامل الاحتكاك بحوالي ١١٪ في حالة أنابيب الري المصنوعة من الألومنيوم والتي لها وصلات ذات تباعد فيما بينها قدره ٩ م. وبتقليل التباعد حتى ٦ م سوف يؤدي إلى زيادة الفاقد في الطاقة بحوالي ١٧٪، في حين أن زيادة تباعد الوصلات حتى ١٧ م سوف يقلل الفقد في الطاقة بحوالي ٨٪. وقد وجد لايل وويلبرلي (Lyle and Wimberly (1962) في دراستهما لعديد من أنواع الوصلات أن هذه الفواقد كانت فوق الحد المقبول. ولابد من الحصول إما على معلومات المصنعين أو الاختبارات الفردية بالنسبة لوصلة ما لتحديد فواقد الطاقة للأنابيب التي لها وصلات.

واستخدم كنكيد وهيرمان (1970) Kincaid and Heermann تقنيات عددية لحساب توزيع الضغط على خط نظام محوري باستخدام معادلة دارسي-ويسباك، وأظهرت نتائجهما أن الفاقد في الضاغط في حامل الرشاش يمكن أن يتم تقريبه باستخدام:

$$h_r = \frac{V^2}{2g} \exp\left(\frac{9.2q_s}{Q}\right) \quad (١٥,٥)$$

حيث إن:

$h_r$  = فاقد الضاغط في حامل الرشاش ، م.

$q_s$  = تصرف الرشاش ، لتر/ث.

$Q$  = تصرف الخط الفرعي في منبع السريان ، لتر/ث.

إن الفاقد الثانوي الناتج عن التغير في الاتجاه والتصرف إلى داخل حامل الرشاش بصفة عامة كان أقل من ٠,٦ م (٦ كيلوبسكال) وغالباً ما يتم إهماله في تصميم النظم عالية الضغط (أكبر من ٤٠٠ كيلوبسكال). ويتم حساب الضغوط على امتداد خطوط الأنابيب بأسلوب تكراري، ويكون ضاغط الضغط عند المخرج  $H_i$  للجزء  $i$  على امتداد خط الأنابيب معطى بما يلي:

$$H_i = H_{i-1} - h_{fi} + (E_{i-1} - E_i) \quad (١٥,٦)$$

حيث إن:

$H_{i-1}$  = ضاغط الضغط عند المدخل إلى الجزء من الأنبوب.

$h_{fi}$  = الفاقد في الضاغط الناتج عن الاحتكاك في هذا الجزء من الأنبوب.

$E_i$  = المنسوب عند الطرف البعيد من هذا الجزء من الأنبوب.

$E_{i-1}$  = المنسوب عند مدخل هذا الجزء من الأنبوب.

## (١٥،٢،٢) توزع الضغط في الخط الفرعي

يتم تصميم العديد من النظم على أساس تصرف الرشاش ثابتاً تقريباً على امتداد الخط الفرعي عند متوسط ضغط فوهة محدد، ويتم تحديد مادة الأنبوب عندئذ بدلالة أقصى طول فرعي وأحجام متعددة للحفاظ على اختلاف الضغط على امتداد طول الخط الفرعي ضمن حدود معينة. وعادة ما يتم تصميم الخطوط الفرعية أولاً، ثم يتم تصميم الخط الرئيس، ويتم وضع ضغط المدخل عند مستوى عالٍ بدرجة كافية للحفاظ على أقل ضغط رشاش مطلوب. وفي تصميم الخطوط الفرعية المنتقلة، عادة ما يتم استخدام واحد أو اثنين فقط من أحجام الأنابيب لكل خط فرعي. ولكن، في حالة الخطوط الفرعية الدائمة أو الثابتة يتم استخدام أحجام متعددة من الأنابيب على امتداد الخط الفرعي حيث إن هذا ربما يعد الخيار الأكثر اقتصاداً. وعند تصميم أحجام الخط الرئيس أو الخطوط الموزعة أو الخطوط الفرعية، ليس فقط على المصمم أن يراعي الانتظامية في الإضافة، وإنما أيضاً لابد من الأخذ في الاعتبار تكاليف الضخ والاختلافات في الارتفاع بين مصدر المياه والحقول.

وعندما يتم إزالة المياه عند مسافات فاصلة على امتداد الخط الفرعي، فإن الفاقد بالاحتكاك سوف يكون أقل مما إذا كان التدفق ثابتاً بالنسبة للطول الكلي من خط الأنابيب. وللقيام بدقة بحساب الفاقد بالاحتكاك في الخط الفرعي، ابدأ عند آخر مخرج على الخط واعمل بشكل عكسي حتى تصل إلى المصدر، مع حساب الفاقد بالاحتكاك بين المخارج. وقد تم تبسيط هذه العملية المضجرة عن طريق عملية قام بتحديدتها كريستيانسن (Christiansen 1942). فقد قام بتحديد معامل تصحيح (F) والذي يساوي نسبة الفاقد بالاحتكاك في الخط الفرعي مع مخارج متعددة بينها مسافات متساوية وتصرفات متساوية، إلى تلك التي يتم حسابها من المعادلة العامة والتي تفترض أن جميع المياه تستمر في السريان في خط الأنابيب حتى نهايته. المعامل F يفترض أن الرشاش الأول يكون موضوعاً على بعد مسافة رشاش كامل من الخط الرئيس. وقد قام جنسن وفراتيني (Jensen and Fratini 1957) بتحديد معامل معدل  $F'$  عندما يتم وضع

الرشاش الأول عند نصف المسافة الكاملة عن الخط الرئيس. وقد تم تحديد المعادلات لحساب قيم المعاملات  $F$  و  $F'$ . وتعتمد المعادلات الخاصة بحساب  $F$  على معادلة كريستيانسن في حين تقوم المعادلة الخاصة بحساب  $F'$  على التقريب الذي قام به كللر و بليسنر (1990) Keller and Bliesner على الدالة التي قام بتحديدتها جنسن وفرايتيني:

$$(١٥,٧) \quad F = \frac{1}{m+1} + \frac{1}{2N} + \frac{\sqrt{m-1}}{6N^2}, \quad F' = \frac{2N}{2N-1} \left( \frac{1}{m+1} + \frac{\sqrt{m-1}}{6N^2} \right)$$

حيث  $N$  عدد مخارج الرشاشات على الخط الفرعي و  $m$  الأس في معادلة الفاقد بالاحتكاك. ويكون الأس  $m$  يساوي ١,٨٥٢ في حالة معادلة هيزن-ويليام، ويساوي ٢,٠ في حالة معادلة دارسي-ويسباك، ويساوي ١,٩ في حالة معادلة سكوي، ويساوي إما ١,٧٥ أو ١,٨٣ في حالة الدوال التي قام بتطويرها كللر و بليسنر Keller and Bliesner (1990)، ويوضح الجدول رقم (١٥,٢) قيم  $F$  و  $F'$ .

وتوضح العلاقة بين الضغط والتصريف للرشاشات أن التصريف يختلف مع الجذر التربيعي للضغط. وحيث إن الضغط يتغير على امتداد الخط الفرعي نتيجة للاختلافات في الاحتكاك والمناسيب، فإن التصريف يختلف كذلك. ونسبة الضغط على الخط الفرعي  $P/P_d$ ، هي نسبة الضغط عند أي نقطة على الخط الفرعي إلى الضغط عند آخر رشاش (مع منسوب ثابت). ونسبة التصريف تساوي الجذر التربيعي لنسبة الضغط:

$$(١٥,٨) \quad \frac{q_s}{q_d} = \sqrt{\frac{P}{P_d}}$$

حيث إن  $q_s$  تصريف أي رشاش يبلغ ضغطه حوالي  $P$ ، و  $q_d$  يساوي التصريف عند الرشاش الأخير على الخط الفرعي والذي يكون له ضغط قدره  $P_d$ . ومن هنا، ومع ٢٠٪ تغير في الضغط على امتداد الخط الفرعي، يتغير التصريف بحوالي ١٠٪.

الجدول رقم (١٥,٢). المعاملات المستخدمة لحساب الفاقد في الضاغط في الخط الفرعي مع مسافات متساوية للرشاشات وتصرف متساو، بالنسبة للمعادلات شائعة الاستخدام لحساب الفاقد بالاحتكاك (بناءً على المعادلة رقم (١٥,٧)).

المعامل m	كلر ويلينتر		هيزن-ويليام		سكوي		دارسي-ويسباك		عدد الرشاشات
	F'	F	F'	F	F'	F	F'	F	
٢	٠,٥٣	٠,٦٥	٠,٥٢	٠,٦٤	٠,٥١	٠,٦٣	٠,٥٠	٠,٦٣	
٣	٠,٤٦	٠,٥٥	٠,٤٤	٠,٥٣	٠,٤٣	٠,٥٢	٠,٤٢	٠,٥٢	
٤	٠,٤٣	٠,٥٠	٠,٤١	٠,٤٩	٠,٤١	٠,٤٨	٠,٣٩	٠,٤٧	
٥	٠,٤١	٠,٤٧	٠,٤٠	٠,٤٦	٠,٣٩	٠,٤٥	٠,٣٨	٠,٤٤	
٦	٠,٤٠	٠,٤٥	٠,٣٩	٠,٤٤	٠,٣٨	٠,٤٣	٠,٣٧	٠,٤٢	
٧	٠,٣٩	٠,٤٤	٠,٣٨	٠,٤٣	٠,٣٧	٠,٤٢	٠,٣٦	٠,٤١	
٨	٠,٣٩	٠,٤٣	٠,٣٨	٠,٤٢	٠,٣٧	٠,٤١	٠,٣٦	٠,٤٠	
٩	٠,٣٩	٠,٤٢	٠,٣٧	٠,٤١	٠,٣٧	٠,٤٠	٠,٣٦	٠,٣٩	
١٠	٠,٣٨	٠,٤٢	٠,٣٧	٠,٤٠	٠,٣٦	٠,٣٩	٠,٣٥	٠,٣٩	
١٢	٠,٣٨	٠,٤١	٠,٣٧	٠,٣٩	٠,٣٦	٠,٣٨	٠,٣٥	٠,٣٨	
١٤	٠,٣٨	٠,٤٠	٠,٣٦	٠,٣٩	٠,٣٦	٠,٣٨	٠,٣٥	٠,٣٧	
١٦	٠,٣٨	٠,٤٠	٠,٣٦	٠,٣٨	٠,٣٦	٠,٣٨	٠,٣٤	٠,٣٧	
١٨	٠,٣٧	٠,٣٩	٠,٣٦	٠,٣٨	٠,٣٦	٠,٣٧	٠,٣٤	٠,٣٦	
٢٠	٠,٣٧	٠,٣٩	٠,٣٦	٠,٣٨	٠,٣٥	٠,٣٧	٠,٣٤	٠,٣٦	
٢٥	٠,٣٧	٠,٣٨	٠,٣٦	٠,٣٧	٠,٣٥	٠,٣٧	٠,٣٤	٠,٣٥	
٣٠	٠,٣٧	٠,٣٨	٠,٣٦	٠,٣٧	٠,٣٥	٠,٣٦	٠,٣٤	٠,٣٥	
٣٥	٠,٣٧	٠,٣٨	٠,٣٦	٠,٣٧	٠,٣٥	٠,٣٦	٠,٣٤	٠,٣٥	
٤٠	٠,٣٧	٠,٣٨	٠,٣٦	٠,٣٧	٠,٣٥	٠,٣٦	٠,٣٤	٠,٣٥	
٥٠	٠,٣٧	٠,٣٧	٠,٣٦	٠,٣٧	٠,٣٥	٠,٣٥	٠,٣٤	٠,٣٤	

وللحصول على كفاءات إضافة عالية مع البقاء ضمن الأحجام الاقتصادية للأنايب، يجب إبقاء التغير في ضغط الخط الفرعي عند أدناه عملياً. ويجب تحديد هذا التغير من قبل مصمم النظام مع موافقة المشتري. وبشكل عام لا يجب أن يتجاوز التغير في الضغط ٢٠٪ من متوسط ضغط الخط الفرعي. وفي النهاية يتضمن الفاقد المسموح به في الضغط موازنة تكلفة رأس المال للأنايب مقابل تكاليف الضخ الناتجة عن الاحتكاك. وقد عرض كلر و بليسنر (1990) Keller and Bliesner طرقاً لحساب أكثر أحجام الأنايب اقتصاداً.

ويمكن تقريب التغير في الضغط على امتداد الخط الفرعي عن طريق افتراض تصرف منتظماً لكل وحدة طول على امتداد الخط الفرعي. ويكون التدفق الكلي في الخط الفرعي ( $Q_x$ ) عند نقطة  $x$  على امتداد الخط الفرعي معطى بالمعادلة:

$$Q_x = Q_L(1 - x/L) = Nq_s(1 - x/L) \quad (١٥,٩)$$

حيث إن  $Q_L$  التدفق الكلي الداخل إلى الخط الفرعي. وإذا كان من المفترض أن ميل الخط الفرعي منتظم، فإن الفاقد في الضاغط لكل وحدة طول عند نقطة على امتداد الخط الفرعي في حالة معادلة هيزن-ويليام يكون معطى بما يلي:

$$\frac{dH}{dx} = -KQ_x^{1.852} D^{-4.87} - S_f \quad (١٥,١٠)$$

حيث إن  $S_f$  الميل المنتظم للخط الفرعي من المدخل. والميل الموجب يعني أن الخط الفرعي يميل لأعلى. وبتدمج هذه المعادلات وبالتكامل من الطرف الأقصى للخط الفرعي إلى نقطة على امتداد الخط الفرعي ينتج ضاغط الضغط  $H(x)$  على امتداد خط فرعي منتظم الميل:

$$(١٥,١١) \quad H(x) = H_d + \left[ \frac{K}{2.852} (Nq_s)^{1.852} \frac{L}{D^{4.87}} \left(1 - \frac{x}{L}\right)^{2.852} + S_f(L-x) \right]$$

وعندما يتم تطبيق هذه المعادلة على مدخل الخط الفرعي (أي، عند  $x = 0$ ) يكون الفاقد في الضغط في الخط الفرعي ٣٥٪ ( $٢,٨٥٢/١$ ) من الفاقد في خط الأنابيب المغلق حيث يتم وصول كل التدفق إلى الطرف الأقصى من خط الأنابيب. وهذا يناظر لقيمة  $F$  قدرها ٠,٣٥ والتي سوف تساوي عدداً لانهاياً من الرشاشات على الخط الفرعي. ويمكن التعويض عن قيم  $F$  و  $F'$  المناسبة بالمقدار  $1/2.852$  في المعادلة (١٥,١١).

واستنتج تشو وموي (1972) Chu and Moe تقريباً تحليلياً لحساب الفاقد في الضاغط في خط الفرعي للنظام المحوري، وافترضوا عدد لانهاية من الرشاشات الصغيرة جداً التي يتم توزيعها بشكل متساو على امتداد الخط الفرعي مع تصرف يتناسب مع نصف القطر في حالة الري المنتظم. ويبلغ الفاقد الكلي في الضاغط في الخط الفرعي ٥٤٪ من الفاقد في الضاغط بالنسبة لخط فرعي يعمل كمصدر لنقل كل التصرف الداخلة. ويمكن حساب هذا الفاقد في ضاغط مصدر المياه من جدول الفاقد في الطاقة أو من خلال واحدة من المعادلات المذكورة سابقاً. وقد تم تقريب توزيع الفاقد في الضاغط عن طريق:

$$(١٥,١٢) \quad H_x = H_L + (H_o - H_L) \left\{ 1 - \left( \frac{15}{8} \right) \left[ \frac{x}{L} - \frac{2}{3} \left( \frac{x}{L} \right)^3 + \frac{1}{5} \left( \frac{x}{L} \right)^5 \right] \right\}$$

حيث إن:

$$H_x = \text{ضاغط الضغط عند مسافة نصف قطرها } x \text{ من المحور، م.}$$

$H_0 =$  ضاغط الضغط عند المحور، م.

$H_L =$  ضاغط الضغط عند الطرف الأقصى من الخط الفرعي عند نصف القطر

، L ، م.

$x =$  مسافة نصف قطرية من المحور، م.

(١٥، ٢، ٣) متوسط الضغط

يمكن حساب متوسط ضاغط الضغط على امتداد الخط الفرعي عن طريق

تكامل توزيع الضغط للخط الفرعي وقسمته على الطول. وهذا يؤدي إلى:

$$H_a = H_d + \frac{Fh_f}{3.852} + \frac{S_f L}{2} \quad (١٥، ١٣)$$

حيث إن:  $h_f$  الفاقد بالاحتكاك لأنبوب ذات حجم متساو بلا مخارج ويمكن أن يساوي معامل التصحيح إما  $F$  أو  $F'$  بناءً على تباعد الرشاش الأول من الخط الرئيس.

ويعتمد متوسط الضغط على تصرف الرشاش، وعدد الرشاشات على الخط الفرعي، وقطر ونوع الأنبوب، والميل على امتداد الخط الفرعي. ويحدد تصميم الخطوط الفرعية طول وعدد الرشاشات على الخط الفرعي. ويتم تحديد التصرف لكل رشاش عن طريق متطلبات المحصول من المياه، وخصائص التربة، والمسافات بين الرشاشات، وقيود الإدارة. وبمجرد معرفة هذه المعلومات يصبح من الممكن حساب متوسط الضغط على امتداد الخط الفرعي. ويتم استخدام متوسط الضغط والتصرف المطلوب لحساب أحجام فوهات الرشاشات. ويجب أن يقوم كل من الفوهة والضغط المختارين بتوفير غطاء كافٍ للحفاظ على الانتظامية. ويمكن أن يكون متوسط الضغط من المطلوب رفعه لتلبية كلا الشرطين.

## (١٥,٢,٤) تغير الضغط

يمكن حساب ضاغط الضغط عند المدخل ( $H_o$ ) وعند النهايات القصوى ( $H_d$ ) باستخدام معادلة توزيع الضغط:

$$(١٥,١٤) H_o = H_a + 0.74Fh_f + 0.5S_f L, \quad H_d = H_a - 0.26Fh_f - 0.5S_f L$$

وهناك تغير في الضغط موضح لأحد النظم كمثال في الشكل رقم (١٥,٣). ويقع متوسط الضغط بشكل عام في الربع الثاني من خط الأنابيب. وتتحرك نقطة متوسط الضغط لأسفل خط الأنابيب بزيادة الميل.

وتتطلب الخطوط الإرشادية للحفاظ على تغير الضغط عند أقل من ٢٠٪ من متوسط الضغط أن يتم تحديد أقصى وأدنى ضغط، ويحدث أقصى ضغط عند المدخل إلى الخط الفرعي بزيادة الارتفاع على امتداد الخط الفرعي (أي، عندما يميل الخط الفرعي لأعلى) أو عندما يكون ميل خلف السريان أقل من الفاقد بالاحتكاك على امتداد الخط الفرعي (أي عندما،  $-S_f L < Fh_f$ ). وبالعكس، يحدث أقصى ضغط عند الطرف الأقصى من الخط الفرعي عندما يسري الخط الفرعي لأسفل عند زاوية تتجاوز الفاقد بالاحتكاك على امتداد الخط الفرعي (أي عندما،  $-S_f L > Fh_f$ ). ويمكن حساب أقصى ضغط باستخدام إما المعادلة رقم (١٥,١٤) أو المعادلة رقم (١٥,١٥).

ويمكن أن يحدث أدنى ضغط في أي مكان على امتداد الخط الفرعي بناءً على الفاقد بالاحتكاك والميل (الشكل رقم ١٥,٣). ويمكن تحديد أدنى ضغط وموقعه من المعادلة رقم (١٥,١١). وتتطلب معايير الانتظامية أن يكون الفرق بين أقصى وأقل ضاغط أقل من ٢٠٪ من متوسط ضاغط الضغط. ويكون حينئذ أدنى متوسط ضغط مقبول هو خمسة أضعاف التغير في الضغط على امتداد الخط الفرعي. وباستخدام هذا المعيار وتوزيع الضغط، فإن أدنى متوسط ضغط مقبول يعطى بالمعادلة:

١- في حالة  $S_f \geq 0$  يكون

$$H_{\max} = H_o, \quad H_{\min} = H_d, \quad P_{\min} = 5(Fh_f + S_f L)9.8$$

٢- في حالة  $S_f < 0$  يكون

$$x_{\min} = L \left[ 1 - \left( -\frac{S_f L}{h_f} \right)^{\frac{1}{1.852}} \right]$$

و

$$(١٥, ١٥) \quad H_{\min} = H_d + Fh_f \left[ \left( -\frac{S_f L}{h_f} \right) \right] + S_f L \left( -\frac{S_f L}{h_f} \right)^{\frac{1}{1.852}}$$

وفي حالة  $(-Fh_f/L) \leq S_f \leq 0$  يكون

$$H_{\max} = H_o, \quad x_{\max} = 0$$

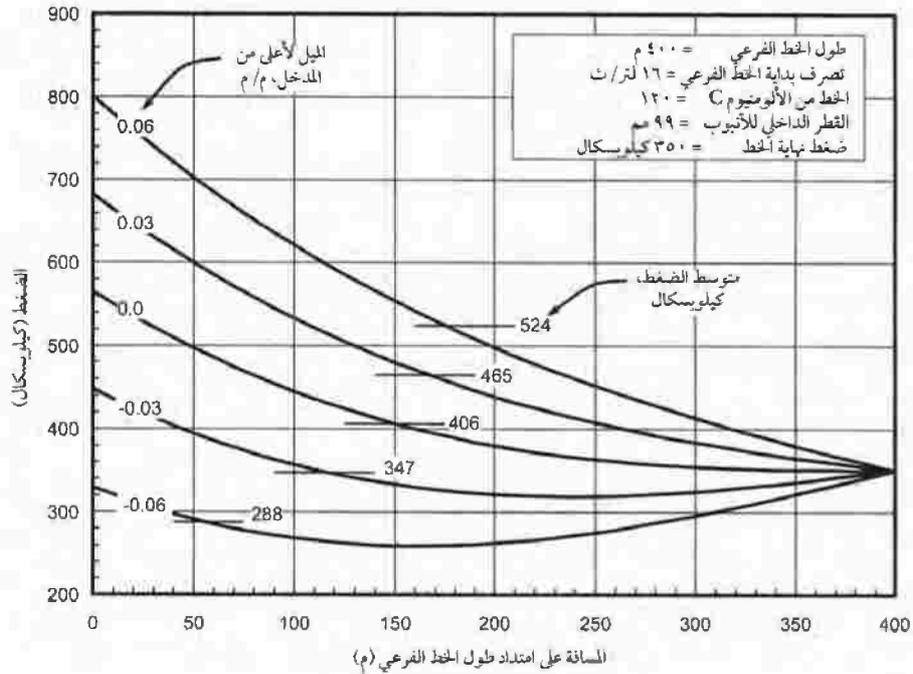
$$P_{\min} = 5 \left\{ Fh_f \left[ 1 - \left( -\frac{S_f L}{h_f} \right)^{\frac{2.852}{1.852}} \right] + S_f L \left[ 1 - \left( -\frac{S_f L}{h_f} \right)^{\frac{1}{1.852}} \right] \right\} 9.8$$

وفي حالة  $S_f \leq (-Fh_f/L)$  يكون

$$H_{\max} = H_d, \quad x_{\max} = L$$

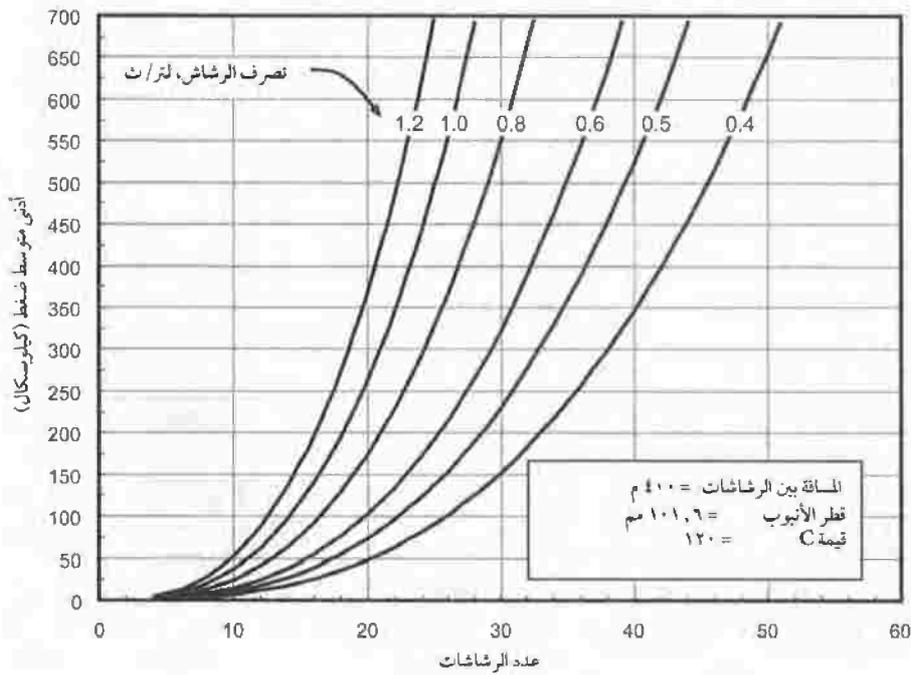
$$P_{\min} = S \left\{ -F h_f \left( -\frac{S_f L}{h_f} \right)^{\frac{2.852}{1.852}} - S_f L \left[ 1 - \left( -\frac{S_f L}{h_f} \right)^{\frac{1}{1.852}} \right] \right\} 9.8$$

حيث إن  $P_{\min}$  (بوحدة كيلوسكال) القيمة الدنيا التي يمكن استخدامها لتوسط الضغط في اختيار أحجام الفوهات.



الشكل رقم (٣، ١٥). مثال لتوزيع الضغط على امتداد خط فرعي للرش مقابل الميل والموقع على امتداد الخط الفرعي حيث يحدث متوسط الضغط.

ويمكن استخدام المعادلة المذكورة سابقاً لتصميم الخطوط الفرعية ثابتة الحجم. ويمكن تطوير الخطوط الإرشادية لظروف معينة كتلك الموضحة في الشكل رقم (١٥,٤). وبالنسبة لهذا المثال يكون عدد الرشاشات على الخط الفرعي والتصرف لكل رشاش من تصميم النظام والحسابات التمهيدية. ويمكن استخدام الأشكال البيانية لأجل التقدير السريع لمتوسط الضغط للاستخدام في اختيار قوهات الرشاشات، أو أقصى عدد من الرشاشات للخط الفرعي. ويمكن القيام بعمل سلسلة من الأشكال البيانية لتنوع من المسافات بين الرشاشات، وأحجام الأنابيب، والميول. وقد تم تطوير المسطرة الحاسبة والأدوات الأخرى التي تستخدم بشكل موسع للتقدير السريع للفاقد بالاحتكاك.



الشكل رقم (١٥,٤). الرسم البياني للتصميم القائم على أدنى متوسط ضغط في حالة خط فرعي مكون من أنبوب قطره ١٠١,٦ مم مع وجود رشاشات على مسافات بينها قدرها ٩,١ م.

وعندما تستخدم أحجام متعددة من الأنابيب على امتداد الخط الفرعي، أو عندما تكون الاختلافات الطبوغرافية معقدة، يصبح من المطلوب القيام بإعداد مخطط حساب تكراري لجزء تلو الجزء. ومع الإتاحة واسعة الانتشار للحاسبات الشخصية ولبرامج جداول العمل تصبح التقنية التكرارية ماهرة.

ويجب تضمين فواقد الاحتكاك في الصمامات والوصلات مثل حامل الرشاش وصمامات الخطوط الفرعية في حسابات الضغط. ويتم بشكل شائع تضمين الفواقد في وصلات الأنابيب في معامل فواقد الاحتكاك (انظر الفصل الحادي عشر للاطلاع على تفاصيل حساب الفواقد في الوصلات والصمامات). وتعد معاملات تصرف الصمام (تصرف لتر/ث في حالة فقد قدره ١ كيلويسكال) متاحة من معلومات المصنعين، فالفاقد الفعلي في الضاغط عبر الصمام يكون في العادة متناسباً مع مربع معدل التصرف.

(١٥,٢,٥) منحنى ضاغط النظام

ينتج تصميم الخطوط الفرعية فقط معدل تصرف وضاغط ضغط واحد عند المدخل. وبالنسبة لمواصفات المضخة يجب تطوير منحنى تصرف الضاغط بالنسبة لنظام الرشاش. ويمكن تطوير علاقة الضاغط-التصرف من دالة توزيع الضغط ومعادلة تصرف الرشاش:

$$(١٥,١٦) \quad H_0 = \frac{1}{9.8} \left( \frac{q_s}{C_d D_n^{a_1}} \right)^{1/b_1} + 0.74 FK (Nq_s)^{1.862} \frac{L}{D^{4.87}} + \frac{S_f L}{2}$$

حيث إن:  $C_d$  معامل التصرف للرشاش المستخدم على الخط الفرعي، و  $D_n$  قطر الفوهة، والمتغيرات  $a_1$  و  $b_1$  معاملات معادلة التصرف:

$$(١٥,١٧) \quad q_s = C_d D_n^{a_1} P^{b_1}$$

والمعاملان  $a_1$  و  $b_1$  كثيراً ما يكون لهما القيمتان ٢,٠ و ٠,٥، على الترتيب.

ويمكن كذلك إيجاد منحني ضاغط النظام عن طريق التعامل مع الخط الفرعي كفوهة دائرية مفردة. وباستخدام هذه العلاقة سوف يزداد ضاغط المدخل تقريباً بشكل متناسب مع مربع معدل التصريف ( $H_0 = kQ_L^2$ ). ويمكن حساب قيمة  $k$  من قيم التصميم لكل من  $H_0$  و  $Q_L$  ويمكن استخدام قيمتها للتصرفات الأخرى.

فإذا كان سيتم تشغيل المضخة عند معدلات تصرف مختلفة، على سبيل المثال باستخدام عدد متغير من الخطوط الفرعية التي يتم تشغيلها، فيصبح من الممكن تعيين اتحادات مختلفة من الضاغط-التصرف. ويمكن التحكم في ضغط المضخة عند الضرورة، برغم أنه من المطلوب تشغيل المضخة قريباً من السعة الكلية. وسوف يكون تشغيل مضخات متعددة على التوازي اختياراً جيداً للنظم التي يختلف معدل التصريف فيها بشكل كبير ولكن التي يكون فيها ضاغط الضغط ثابتاً. ويمكن استخدام مضخة تعزيز الضاغط عندما يوجد جزء من النظام على ارتفاع عالٍ بالنسبة إلى المضخة.

ومن المطلوب إضافة المياه بشكل منتظم بقدر الإمكان، سواء كان النظام بأكمله أو جزء منه هو الذي يتم تشغيله فقط. وهذا يتطلب أن يكون الفاقد في الضغط نتيجة للاحتكاك في الخط الرئيس عند أدناه أو أن أجهزة التحكم في التصريف يتم استخدامها. ولا بد أيضاً من احتواء اختلافات مناسب الحقل في الحسابات.

وعادة، لا يجب أن تتجاوز سرعات التدفق ٣ م/ث. وبالنسبة للنظم الدائمة التي يتم فيها استخدام الأنابيب المصنوعة من كلوريد البولي فينيل (PVC) وأنابيب أسمنت الأستوس (AC) التي يتم استخدامها لخطوط إمداد المياه، فإن السرعات لا يجب أن تتجاوز ٢,٢٥ م/ث، ومعظم المصنعين يحذرون من استخدام السرعات التي تتجاوز ١,٦ م/ث.

وتشغيل أكثر من خط فرعي واحد على النظام في وقت واحد (وبشكل خاص بجوار بعضهم البعض)، فإن خط مصدر إمداد المياه يصبح متعدد المخارج. وهذا يعني تصرف كبير من المياه عبر الجزء القريب من المضخة ولا بد من حساب الفاقد بالاحتكاك في كل جزء منها.

## (٦, ٢, ١٥) تنظيم الضغط/التحكم في التصريف

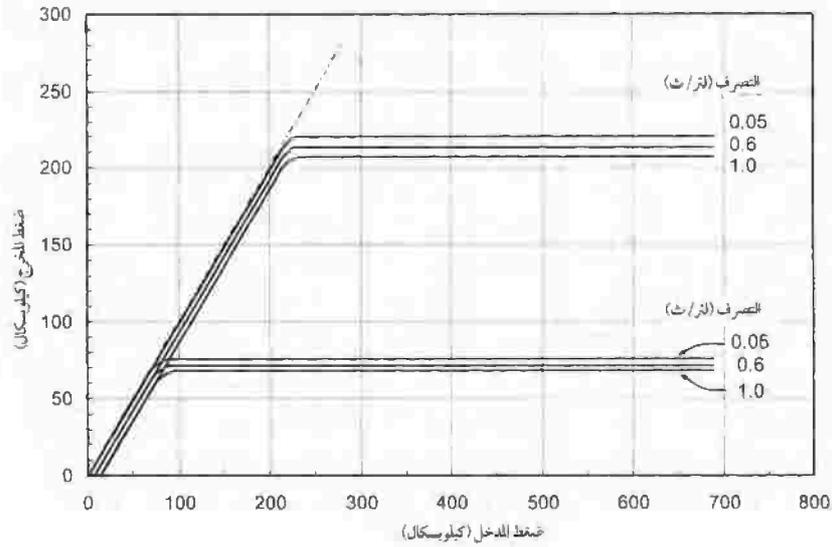
يمكن أن يختلف ضغط التشغيل للرشاش عن قيمة التصميم، ويمكن أن تنتج الاختلافات في الضغط من التغيرات في المناسيب بحركة الخط الفرعي للرشاش عبر الحقل. ويمكن أن تحدث الاختلافات أيضاً عندما تكون عدد الخطوط الفرعية أو الرشاشات لكل خط فرعي مختلفة أثناء التشغيل. وعندما يتم إيقاف الخط الفرعي لأجل إعادة تحديد موقع له، فإن الضغط يزداد على الخط الفرعي الذي يظل في وضع التشغيل. وإذا كان الاختلاف حاداً جداً، فرمما يكون من المطلوب استخدام منظمات للضغط أو فوهات للتحكم في التدفق لتوفير الانتظامية المطلوبة.

وتعد منظمات الضغط أجهزة تعمل على الحفاظ على ضغط ثابت خلف السريان بالنسبة لضغوط مدخل متغيرة كما هو موضح في الشكل رقم (١٥,٥). وميزة استخدام منظمات الضغط هي أن التصريف من الرشاش يكون تقريباً ثابتاً عبر مدى واسع من ضغوط المدخل. وإن المؤشر الذي يوضح أن هناك حاجة للمنظمات يقوم على مفهوم أن الضغط عند الرشاش لا يجب أن يختلف بدرجة أكبر من ٢٠٪. ويمكن تحديد الخطوط الإرشادية من هذه المعايير كتلك الموضحة في الشكل رقم (١٥,٦).

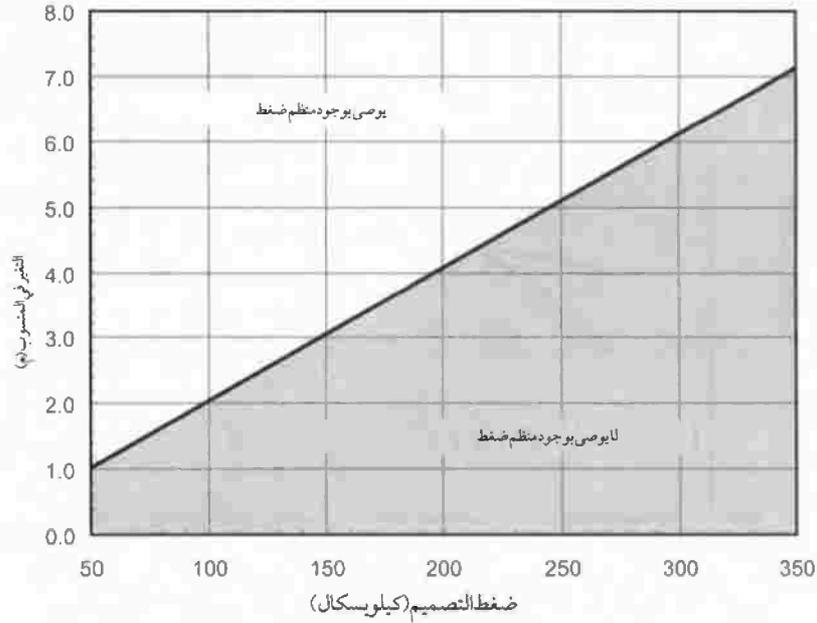
لا تستخدم منظمات الضغط بدون قيود. أولاً، وجود فاقد في الضغط عبر المنظمات. ويحدث الفاقد في الضغط داخل المنظم حتى عندما يكون ضغط المدخل أقل من ضغط التصميم. ويقوم المصممون بشكل شائع باستخدام فاقد قدره من ٢٠ إلى ٤٠ كيلوبسكال عبر المنظم. ولأجل التصميم السليم يجب أن يكون الضغط في الخط الفرعي كافياً لتلبية الضغط المطلوب للرشاش، وفواقد الضغط في الوصلات وحوامل الرشاشات المستخدمة لربط الرشاش بالخط الفرعي والفواقد التي تحدث عبر المنظم.

وتعمل منظمات الضغط على زيادة تكلفة نظم الري. ويقوم التحليل الذي قام به فون برنوث (1983) Von Bernuth بمقارنة الفائدة الاقتصادية للزيادة في الانتظامية في حالة استخدام منظمات الضغط بالاستثمار المخصص لها. وهذا النوع من المقارنة يكون خاصاً بالموقع بدرجة كبيرة ولا يمكن تعميم النتائج، ومع هذا، يمدنا التحليل بخطوات التقييم المحلي.

ومن الصعب مراقبة التشغيل الصحيح لمنظمات الضغط. كما أوضح كل من فون برنوث وبيرد (1990) Von Bernuth and Baird، أن بعض المنظمات تعرضت للتخلفية عندما يتغير ضغط المدخل بشكل تدريجي. وبالتالي، فإن منظم الضغط لا يقوم بتقييد التدفق بالمدى المطلوب لحالات الضغط العالي ويقوم بشكل مفرط بتقييد التدفق عندما ينخفض الضغط. وتعمل منظمات الضغط عن طريق التحكم في فتحة تدفق المياه بتضييق الفتحة عندما يزيد التصريف، وهذا يتطلب الفتحات الصغيرة نسبياً التي ربما تنسد عندما تكون هناك مادة غريبة في مياه الري. وهذا يجعل الاستفادة من الأجهزة غير متناسقة لبعض مصادر المياه. وإذا انسدت هذه المنظمات، من خلال وجود مشاكل متعلقة بالتخلفية أو أن تعلق ببساطة في موضع واحد فيصبح من الصعب ملاحظة التشغيل الصحيح. وربما يظهر أن الرشاش يعمل ولكن من المحتمل حينها ألا يكون الضغط صحيحاً.



الشكل رقم (٥، ١٥). التحكم في منظم ضغط المخرج مع المنظمات الموضوعه للحفاظ على ضغط من ٧٠ إلى ٢١٠ كيلوسكال.

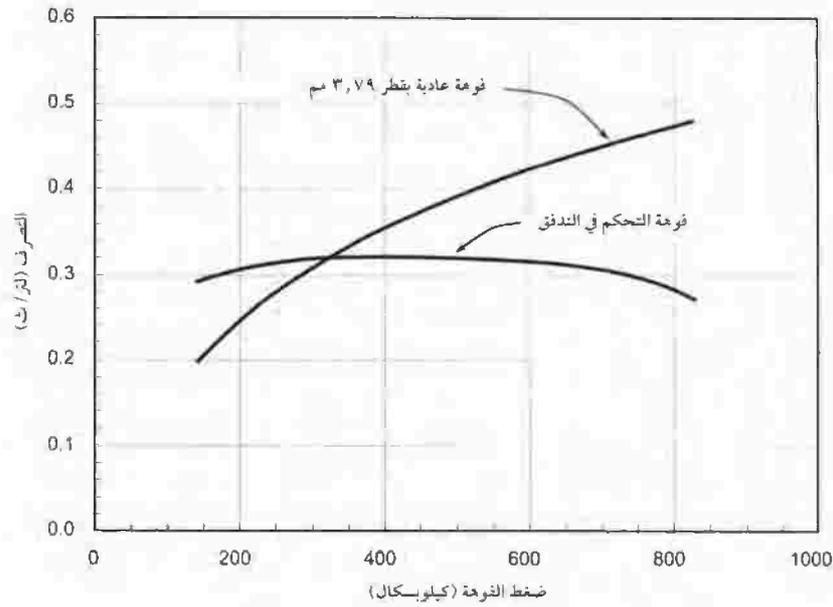


الشكل رقم (٦، ١٥). التغير في النسوب المناظر لتغير قدره ٢٠٪ في ضغط التصميم.

وتستخدم المنظمات في كثير من الأحيان عندما لا يكون هناك حاجة لها. ويتم استخدام المنظمات في المعتاد في كثير من النظم المحورية التي تستخدم رشاشات الضغط المنخفض. ويستخدم بعض المصممين المنظمات كتأمين، وبهذا سوف يعمل النظام عند ضغط مناسب حتى لو لم يكن النظام يتطلب القيام بتنظيم الضغط. ومن الواضح أن هذا سوف يعمل على رفع تكاليف الاستثمار والتشغيل ولا بد من تجنبه. وإذا كانت منظمات الضغط تستخدم أدنى ضغط في النظام فلا بد من تحديده. وهذا يحدث في المعتاد عند نقطة تقع قرب نهاية النظام حيث يكون الارتفاع عند أعلاه. ومن الممكن أن يختلف الضغط الأدنى أثناء مواسم النمو إذا انخفضت سعة إمداد الآبار أو المصادر المائية الأخرى. ولا بد من تصميم النظام لهذا الضغط واستخدام المنظمات

المناسبة في هذه الحالة. ويمكن أن تقل انتظامية النظام بشكل تبادلي إذا انخفض ضغط المدخل لأقل من ضغط التصميم الخاص بالنظام.

وتعد تصاميم الفوهة الخاصة التي تعوض التغير في الضغط في هذا المجال متاحة، وهذه الفوهات، تسمى فوهات التحكم في التدفق، ويتم تركيبها بحيث يختلف قطر الفوهة مع ضغط الفوهة. فعندما يرتفع الضغط يقل قطر الفوهة ويتم الحفاظ على معدل تصرف منتظم نسبياً كما هو موضح في الشكل رقم (١٥,٧). ويمكن أن تكون فوهات التحكم في التدفق فعالة في توفير تصرف منتظم وهي تعد أزهدي سعراً وأقل تكلفة في التشغيل من منظمات الضغط، ولكنها، لا تقوم بتعويض التغير الكبير في الضغط مثل المنظمات. وكما هو الحال مع منظمات الضغط، يصعب تحديد ما إذا كانت الفوهات تعمل بشكل صحيح وما إذا كانت قياسات التدفق مطلوبة بشكل عام لمراقبة التشغيل.



الشكل رقم (١٥,٧). توضيح المقارنة بين فوهة التحكم في التدفق والفوهة العادية.

## (١٥,٢,٧) فواقد الطاقة في المنظمات والمنقطات

ينصح المصنع بأن يتجاوز ضغط المدخل الضغط الاسمي للمنظم بحوالي ٣٠ إلى ٤٠ كيلوسكال، وسيسمح هذا بشكل عام بفقد الضغط عبر المنظم عند معظم معدلات التصرف التصميمي. وكما هو موضح في الشكل رقم (١٥,٦)، فإن ضغط المنفذ المنظم لا يعتمد على معدل التصرف. ويزداد الفاقد في الضاغط عبر المنظم بزيادة التصرف. والمنقطات التي لها كذلك فواقد في الضاغط تكون متاحة بناءً على الضغط وبالتالي على معدل التصرف، ومن الموصى به البحث في المراجع والحصول على توصيات المصنعين حول الفاقد في الضاغط بالنسبة لمنظمات أو منقطات بعينها.

## (١٥,٢,٨) فواقد الطاقة في نظم الترشيح

تشمل نظم الترشيح المنخلي وأنواع المرشحات الوسطية. وغالباً ما تستخدم مداخل محطات الضخ مرشحاً منخلياً دواراً يكون له أدنى فاقد في الضاغط مع مساحة حجز كبيرة نسبياً بالنسبة للتصريف التصميمي. وأيضاً يتم استخدام المرشحات قبل القيام بدفع التدفق إلى نظم الخطوط الفرعية خاصةً في نظم الري الدقيق. وفي بعض الحالات يتم استخدام المرشحات لتنظيف المياه لمنع انسداد أجهزة إضافة المياه في نظم الري بالرش. ويتم تصميم كثير من نظم الترشيح لتوفير تنظيف ذاتي عندما ينخفض الضغط عبر المرشح بما يتجاوز حوالي ٥٠ كيلوسكال. ويعتمد الفاقد في الضاغط على معدل التصرف ومنحنيات المصنعين التي توضح حدوث فاقد من ١ إلى ١٠٠ كيلوسكال بالنسبة لمدى من التصريفات.

## (١٥,٣) صمامات نظام الري

يقوم الجزء التالي بتوفير الاعتبارات اللازمة للصمامات الخاصة عند القيام بتركيب خطوط الأنابيب المضغوطة. ولا بد من الحصول على معلومات تقنية معينة ونصائح للتركيب من مصنعي المعدات. ويمكن في الغالب الحصول على هذه البيانات من مواقع الإنترنت.

## (١٥,٣,١) التحكم في الدفق وصمامات عدم الرجوع

تتطلب نظم الري وجود صمامات للقيام بكثير من الوظائف. وهناك عرض لبعض الصمامات الشائعة ووظائفها وتطبيقاتها أدناه. ومن الممكن حدوث ضغط عالٍ ومنخفض غير مرغوب فيه في خط الأنابيب بعد حدوث عطل في مصدر الطاقة. وإن تجهيزات الغلق التي يتم التحكم بها والمؤقتة بعناية على الصمامات عند تصرف كل مضخة سوف يساعد على تقليل ارتفاعات الضغط العالي التي تحدث عندما يتم غلق الصمامات بالكامل. وتعد الضغوط المنخفضة مسببة للمشاكل إذا كانت المياه يتم تبخيرها. وتتكون فقاعات في السائل إذا انخفض الضغط في خط الأنابيب إلى أقل من ضغط بخار الماء، وإذا كانت الفقاعات متصلة ببعضها البعض فرمما يكون من الممكن تكوّن جيب من البخار في خط الأنابيب. ويسمى هذا بفصل العمود، وهي حالة لا بد من الحذر منها أثناء التدفق. ولا يمكن تصحيح حالة فصل العمود التي تحدث عند معدلات التصرف العالية وظروف الضغوط العالية عن طريق ضبط أزمنة غلق الصمام. وسوف تتطلب صمامات تنفيس الفراغ على امتداد أجزاء خط الأنابيب تقليل فصل العمود.

## (١٥,٣,١,١) غرف الدفق

إن غرفة الدفق (الشكل رقم ١٥,٨) هي جهاز التحكم الأكثر ثقة في طرق المياه. والعوامل المستخدمة لتحديد حجم غرفة الدفق المطلوبة - التي يمكن أن تكون كبيرة - هي طول خط الأنابيب، وسعة التصرف القصوى، وسرعة الموجة الصوتية في خط الأنابيب، والقطاع الجانبي للأنبوب، وتوزيع التصرف. ويمكن تحديد الحجم المطلوب فقط عن طريق برامج تحليل الحاسب الآلي، ولكن يمكن تقدير الحجم التقريبي عن طريق:

$$V_T = \frac{QL}{100c} \quad (١٥,١٨)$$

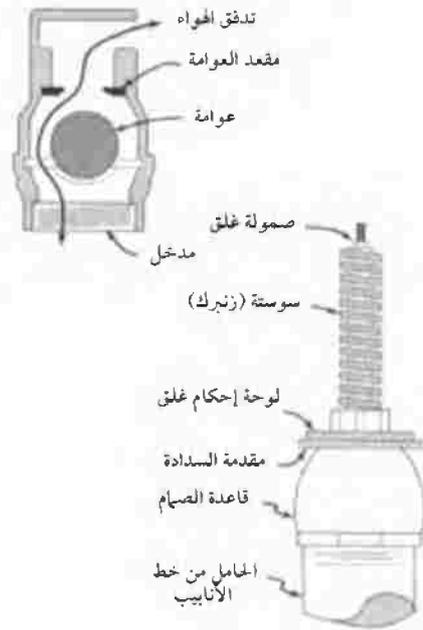
حيث إن :

$$V_T = \text{الحجم الكلي، م}^3.$$

$$Q = \text{التصرف، لتر/ث.}$$

$$L = \text{طول الأنابيب، م.}$$

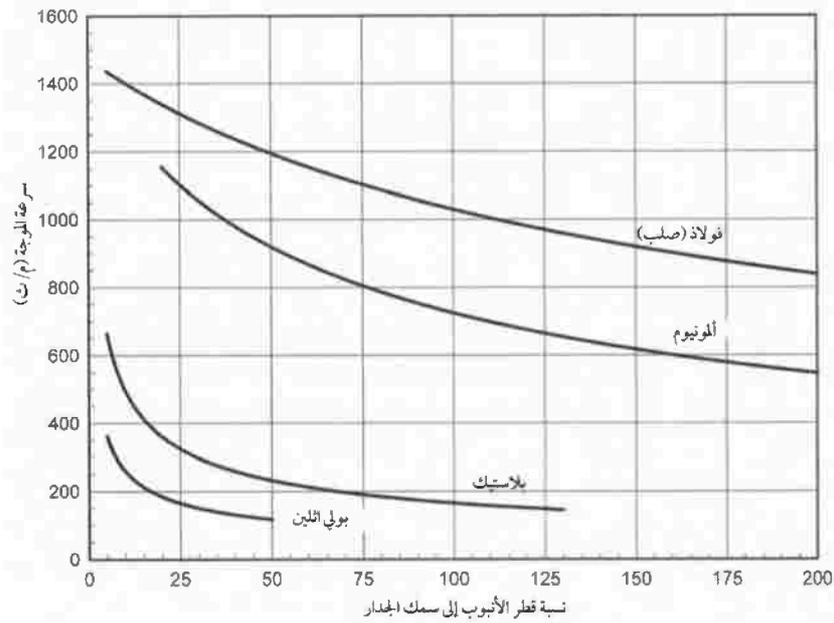
$$c = \text{سرعة موجة الضغط في خط الأنابيب، م/ث.}$$



الشكل رقم (١٥,٨). صورة لتركيب خزان التدفق مع الرسم التخطيطي لصمام تنفيس الهواء/ صمام التهوية وصمام تخفيف الضغط.

ويوضح الشكل رقم (١٥,٩) سرعة موجة الضغط كدالة في مادة الأنبوب ونسبة قطر الأنبوب للمواد شائعة الاستخدام في الري. والمعادلات المستخدمة لحساب سرعة موجة الضغط لمواد الأنابيب الأخرى أو درجات الحرارة الأخرى يمكن العثور

عليها في مراجع ميكانيكا الموائع ، ولدرجة حرارة المياه تأثير بسيط على سرعة الموجة ، ونسبة القطر المستخدمة لتحديد سرعة الموجة هي النسبة بين القطر الداخلي إلى سمك جدار الأنبوب.



الشكل رقم (١٥,٩). سرعة موجة الضغط القائمة على نسبة قطر الأنبوب (في حالة مياه درجة حرارتها ٢٠ درجة مئوية مع وجود وصلات امتداد).

ولا تعمل غرف الدفق بشكل سليم مع وجود صمامات التحكم في خط الأنابيب أو في وجود صمامات التنبؤ بالدفق. ولمنع إجبار التدفق على العودة للخلف من خلال المضخة ، من الملائم استخدام صمام كبح متصل مع غرف الدفق على جانب التصريف من المضخات. ويمكن أن تعمل الأحجام المختلفة لمداخل ومنافذ الخطوط على تقليل حجم غرفة الدفق المطلوبة.

تعمل غرف الدفق كمصادر للطاقة حيث تعمل عقب حدوث عطل في مصدر الطاقة الأصلي لامتصاص الصدمات أثناء حدوث حالات دفق زائدة كما يحدث عند بدء تشغيل المضخة أو عند حدوث التدفق العكسي عقب إيقاف المضخة. وعلى نحو مميز، تقوم غرف الدفق بالتخلص من ارتفاعات الضغط الحادة وتعمل على خلق تذبذبات الضغط السلسلة المتحكم بها إلى أن يعمل الاحتكاك على إخماد موجة الضغط المؤقتة.

(١٥,٣,١,٢) صمامات تجمعات الهواء

تسمح صمامات إدخال/إطلاق الهواء (انظر الشكل رقم (١٥,٨)) بدخول الهواء إلى خط الأنابيب عندما ينخفض الضغط لأقل من الضغط الجوي وهواء التصريف (إذا وجد) عندما يصبح الضغط موجباً. ومن الممكن أن تكون الضغوط الموجبة في خط الأنابيب أثناء الدفق أفضل فهماً عن طريق رؤية الضغوط السالبة عند تعليق خيط متدل أسفل القطاع الجانبي للأنبوب. ويتم شد الخيط لأعلى إلى الأنبوب عند نقاط التحكم، مثل الخزانات أو صمامات الهواء. والطريقة الوحيدة لمنع انفصال العمود تكون عن طريق جعل الصمامات كبيرة بدرجة كافية لسحب الضغوط لأعلى قريباً من الضغط الجوي عند الصمامات ووضع الصمامات متقاربة بشكل يكفي للاحتفاظ بالضغط المتدلي بين الصمامات عند مستوى آمن. ويجب بشكل طبيعي أن تكون الضغوط فوق ٥٠ كيلوسكال، مما يؤدي إلى عامل سلامة بحوالي اثنين في تجنب انفصال العمود.

وبشكل عام، فإن إدخال كميات كبيرة من الهواء إلى خطوط الأنابيب ليس ممارسة جيدة. فالتكهفات الهوائية تتكون عند الضغط المنخفض، وهذا يحدث من الخصائص اللطيفة لصدمات التكهفات عندما تعاود الأعمدة الاتصال. يمكن أن تنتج الضغوط العالية عند تصادم الأعمدة. وبالإضافة إلى ذلك، لا بد من طرد الهواء لضمان سلامة وكفاءة تشغيل خط الأنابيب.

(١٥,٣,١,٣) صمامات التنبؤ بالدفق

تفتح صمامات التنبؤ بالدفق عندما ينخفض الضغط لأدنى من نقطة محددة بعينها. وتظل مفتوحة لفترة سابقة الإعداد من الزمن، ثم تُغلق بطريقة تمنع حدوث

الضغط العالي الناتج من الغلق السريع للصمام. تعمل صمامات التنبؤ بالدفق التي يتم تركيبها بشكل سليم على منع الضغوط العالية في محطات الضخ، ولكن يكون لديها مقدرة ضعيفة على التخفيف من انفصال العمود، وخاصة في خطوط الأنابيب الطويلة. وعلاوة على هذا، لا بد من إعداد تحركات الصمام بعناية، وإلا فمن الممكن أن تسبب مزيداً من مشكلات طرق المياه (التكهف) الأكثر خطورة أكثر مما تفيد. ويمكن كذلك وضع صمامات التنبؤ مفتوحة عندما يتجاوز الضغط في الخط قيمة سابقة الإعداد، وبالتالي تعمل كصمام لتخفيف الدفق.

#### (١٥,٣,١,٤) صمامات تخفيف الدفق

تتكون صمامات تخفيف الضغط من لوح سدادة متحرك مثبتاً في مكانه بزنبك وصمولة غلق كما هو موضح في الشكل رقم (١٥,٨). وعندما يقوم الضغط الموجود في خط الأنابيب ببذل قوة على لوح السدادة بحيث يمكن للزنبك مقاومتها فإن لوح السدادة يرتفع ويسمح لضغط المياه العالي بالخروج من خط الأنابيب. ويمكن أن تعمل صمامات تخفيف الدفق أو الضغط على تقليل ضغوط الدفق القصوى إذا تم ضبطها بشكل سليم. وهي تفتح عند مستوى ضغط سابق الإعداد تقوم بإطلاق ضغط زائد عند نقطة حرجة في خط الأنابيب، وفي الغالب عند تصرف المضخات. ومثل صمامات التنبؤ بالدفق، لا يمكن أن تمنع صمامات تخفيف الدفق حدوث فصل العمود.

#### (١٥,٣,١,٥) صمامات عدم الرجوع

تعمل صمامات عدم الرجوع على منع أو على الحد من التدفق العكسي ولا بد أن يتم تصميمها لمنع الانغلاق بعنف. فالضوضاء الزائدة والارتفاعات في الضغط عند الغلق النهائي تعدان نتيجتين سلبيتين للصمامات التي تنغلق بعنف. وتعد صمامات عدم الرجوع متاحة بأنواع، وأشكال، وأسماء كثيرة العدد جداً. ونقوم لاحقاً بإيجاز السمات المرغوبة وغير المرغوبة للأنواع الخمسة الرئيسة من صمامات عدم الرجوع: صمام متأرجح (إما مفرد القرص أو مزدوج القرص)، وصمام القرص المائل، والصمام الصامت (قفاز، أو قرص، أو كرة)، وصمام بقرص تحكم، وصمام القدم.

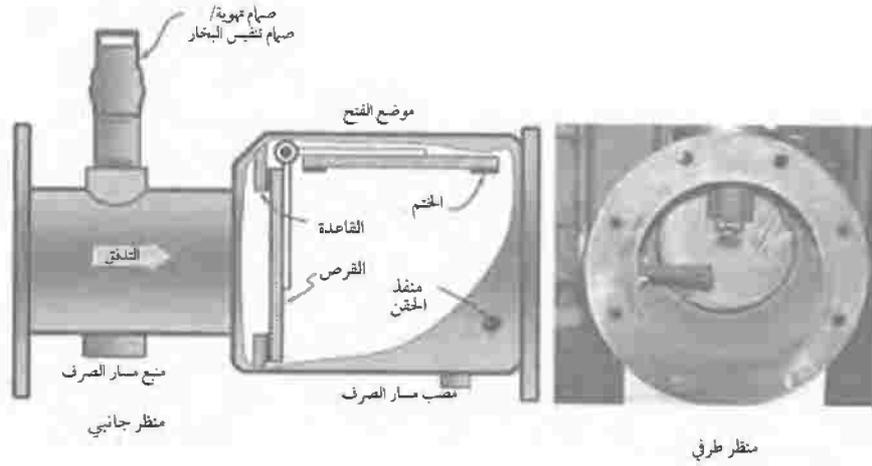
وربما تبدو الأنواع المختلفة من صمامات التفتيش مختلفة الشكل، ولكن جميعها يقوم بنفس الوظيفة الرئيسة، فهي تعمل على تسهيل التدفق في اتجاه واحد وتتحكم في عدم عودة التدفق للخلف. ويتم تركيب صمامات عدم الرجوع بشكل شائع على جانب التصرف من المضخة. والدور الأكثر أهمية لصمام عدم الرجوع هو العمل كصمام غلق آلي عندما تتوقف المضخة عن العمل. وهذا يمنع جفاف النظام الذي تقوم المضخة بملئه. ولكن لكل صمام تفتيش خصائص غلق مختلفة.

ويمكن أن يتم تقليل اندفاع الضغط (طرق الماء) بشكل كبير عن طريق اختيار صمام عدم الرجوع الصحيح. فعلى سبيل المثال، تقوم صمامات عدم الرجوع الصامتة بالغلاق السريع جداً، في زمن قدره ١٠/١ إلى ٢٠/١ من الثانية، مما يجعلها أجهزة حماية دفق ممتازة عندما تقوم بالضخ على مسافات قصيرة (أقل من ٨٠٠ م). وبالعكس، لصمام عدم الرجوع بقرص التحكم سرعة غلق بطيئة للغاية ومتغيرة، وهي تعد أجهزة حماية دفق ممتازة عندما تقوم بالضخ لمسافات طويلة (أكثر من ٨٠٠ م).

(١٥,٣,٢) مقارنة بين صمامات عدم الرجوع

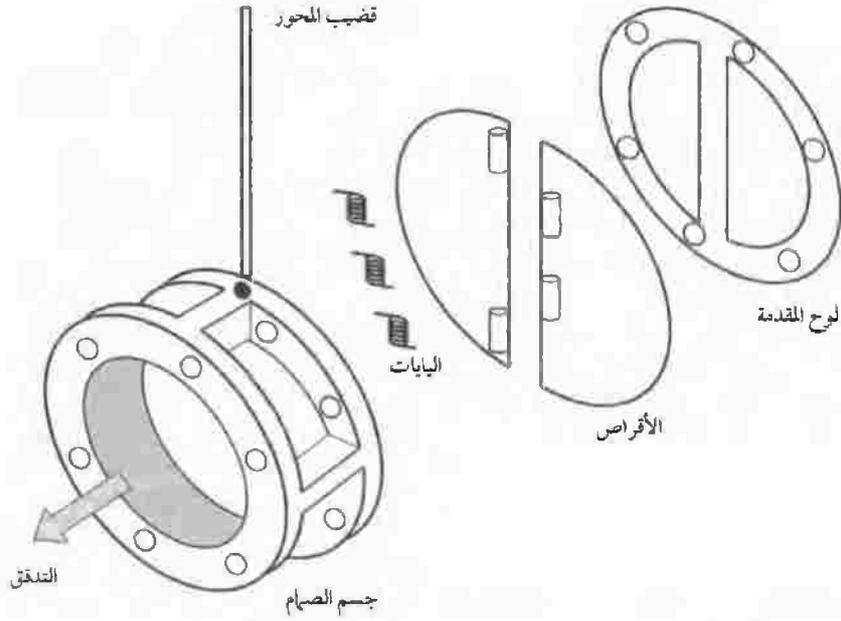
(١٥,٣,٢,١) صمام عدم الرجوع المتأرجح (مفرد القرص)

تعتمد صمامات عدم الرجوع المتأرجحة (الشكل رقم ١٥,١٠) على الجاذبية والتدفق العكسي لتقوم بغلاق الصمام وإيقاف التدفق العكسي، وتشتمل كثير من النماذج على زنبرك للمساعدة في غلق الصمام. وتقع نقطة المحور من صمام عدم الرجوع المتأرجح خارج محيط القرص وكلما كان الضاغظ أكبر كان احتمال أن يتدفق المائع للخلف من خلال الصمام قبل أن يمكن غلق القرص. وللعمل على تأثير الغلق التام، فلا بد أن يتحرك قرص صمام عدم الرجوع المتأرجح عبر قرص زاويته ٩٠ درجة إلى قاعدة الصمام. وبدون مقاومة قوة القرص الدافعة لأسفل، فإن الغلق يؤدي إلى الغلق العنيف واحتمال تلف بسبب طرق المياه. ولا بد من اتخاذ الحيلة عند استخدام هذا النوع من صمامات عدم الرجوع عندما تتجاوز السرعات ١ م/ث من التدفق العكسي وعندما تكون الضغوط أكبر من ٢٠٠ كيلوبسكال.



الشكل رقم (١٥,١٠). رسم تخطيطي وصورة لصمام عدم الرجوع المتأرجح مفرد القرص.

(١٥,٣,٢,٢) صمام عدم الرجوع المتأرجح مزدوج القرص (قرص منقسم متأرجح) يشبه صمام عدم الرجوع المتأرجح مزدوج القرص (الشكل رقم ١٥,١١) صمام عدم الرجوع المتأرجح المعتاد (مفرد القرص) ما عدا أن القرص المفرد يتم تقسيمه لاستخدامه في الصمام مزدوج القرص. ويعمل تقسيم القرص على تقليل كتلة القرص ومسافة التحرك من موضع الفتح إلى الغلق. وتنتج مزيد من التحسينات من زنبركات الالتواء التي تعمل على إجبار الأقراص المزدوجة أن تنغلق مع حدوث أقل قدر من التدفق العكسي. وبالمقارنة بصمام عدم الرجوع المتأرجح المعتاد، يكون دبوس المفصل ثابتاً ويقوم كل قرص بالتأرجح بحرية عند الفتح والغلق. ويتم استخدام عديد من الزنبركات على الصمامات الأكبر حجماً لتعويض الأقراص الأكثر ثقلاً ولتحسين سرعة الغلق.



الشكل رقم (١٥, ١١). رسم تخطيطي لمكونات صمام عدم الرجوع المتأرجح مزدوج القرص.

(١٥, ٣, ٢, ٣) صمام عدم الرجوع بالقرص المائل (مع محور مركزي خارجي).  
صمامات عدم الرجوع بالقرص المائل لها مساحة تدفق كبيرة عبر أجزاء القرص والقاعدة. وتقع محاور القرص بعيداً عن المركز، مع وقوع تقريباً ٣٠٪ من مساحة القرص فوق نقطة المحور مما يقدم مقاومة ضد ٧٠٪ من مساحة القرص أسفل نقطة المحور. وبالتالي، فإن هذا النوع من صمامات عدم الرجوع يكون لديه خصائص غلق بدون عنف مثبتة به. وتبلغ زاوية قاعدة الغلق ٥٥ درجة. ويتأرجح القرص لينفتح بزاوية قدرها ٥٥ درجة من زاوية القاعدة، ويتحرك لمسافة قصيرة، ويتوقف عند زاوية قدرها ١٥ درجة مع الأفقي مع الأفقي. ولذلك، يتحرك القرص فقط لمسافة قصيرة، بما يسمح بأقل قدر من التدفق العكسي وأقل قدر من الانغلاق غير العنيف.

## (١٥,٣,٢,٤) صمام عدم الرجوع الصامت

صمام عدم الرجوع الصامت له صمام قفاز مثبت به بحيث يكون الزنبرك محملاً ومغلقاً بشكل طبيعي. والخاصية التي تتسبب في غلق الصمام الصامت هي علاقة الصمام القفاز بالقاعدة عندما تكون في وضع مفتوح. وهذه المسافة تساوي تقريباً ربع (٤/١) حجم الصمام، وبتعبير آخر، لصمام طوله ١٠٠ مم مسافة قدرها ٢٥ مم للانغلاق. وإن تحرك الصمام القفاز لمسافة قصيرة واقتراها مع قوة الزنبرك هو ما ينتج الغلق الصامت. ويتراوح الزمن التقريبي للانغلاق بين ٢٠/١ و ١٠/١ من الثانية. ويتم تزويد صمام عدم الرجوع الصامت بزنبركات، مما يؤدي إلى تقليل أي احتمال للتدفق العكسي وتقليل طرق المياه (التكهف) أو دفع الضغط.

## (١٥,٣,٢,٥) صمام عدم الرجوع بقرص التحكم

يعد صمام عدم الرجوع بقرص التحكم تعديلاً فريداً لصمام عدم الرجوع بالقرص المائل. فكل صمامات عدم الرجوع سالفه الذكر تقوم بالفتح والغلق عندما يبدأ تدفق المياه من المضخة وعندما يتوقف. ويكون فتح وغلق القرص، أو الصمام القفاز، أو الجزء المتحرك غير متحكم به. وينصح باستخدام صمام عدم الرجوع بالقرص المتحكم حيث يكون التحكم في تدفق المضخة ضرورياً لمنع دفعات الضغط عندما يبدأ التدفق أو يتوقف في خط الأنابيب. ويمكن التحكم في قرص الصمام كهربياً للسماح بالتشغيل عن بعد لمحطات الضخ الآلية. وإن وظائف الصمامات كصمامات غلق، تنفتح بشكل بطيء بعد بدء التدفق وتنغلق بشكل بطيء عند توقف التدفق ليتم غلق صمام عدم الرجوع بقرص التحكم. وينغلق الصمام آلياً إذا تم قطع مصدر الطاقة الكهربائية. ويعد هذا النوع من الصمامات متاحاً مع سبل تحكم هيدروليكية ومؤشرات موضع على القرص. ويمكن تحقيق وظائف تحكم مماثلة باستخدام صمامات فراشة يتم تشغيلها بالأسطوانة أو الموتور.

## (٦، ٢، ٣، ١٥) صمامات القدم

يعد صمام القدم أحد أشكال صمامات عدم الرجوع الذي يتم تركيبه عند قاع خط سحب المضخة وتحت سطح المياه. وتعد صمامات القدم طريقة غير باهظة الثمن لمضخات الطرد المركزي الرئيسة. ويتم تركيب صمامات القدم في الموضع الرأسي مع وجود اتجاه التدفق لأعلى. وفي هذا الموضع، يكون صمام القدم في الوضع الطبيعي مغلقاً. ومن الضروري القيام بعمل خط السحب بالمياه قبل بدء تشغيل مضخة الطرد المركزي. وبمجرد أن يمتلئ خط السحب، يبدأ عمل صمام القدم وينفتح أثناء عمل مضخة الطرد المركزي وينغلق عند توقف المضخة عن العمل. وهذا يعمل على الحفاظ على سحب غزير ومضخة ممتلئة. وحيث إن صمامات القدم تكون بشكل مستمر منغمة بالمياه ولا يسهل الوصول إليها للقيام بالتفتيش عليها أو إصلاحها، فيصبح من الهام القيام باختيار نوع من الصمامات عالية الجودة لا تبلى سريعاً.

## (٣، ٣، ١٥) نظرية واستخدام صمامات الهواء

## (١، ٣، ٣، ١٥) صمامات إطلاق الهواء

ينفصل الهواء المحتوى في المياه المنقولة عن السائل ويتجمع عند النقاط العالية داخل خط الأنابيب، وإذا لم يتم القيام بوضع تجهيزات لإزالة الهواء من النقاط العالية، فسوف تتجمع جيوب من الهواء ويزداد حجمها. وسوف يعمل نمو الجيب الهوائي على تقليل مساحة تدفق السائل الفعالة، مما يكون تأثيراً خانقاً مشابهاً للصمام المغلق جزئياً. وفي الغالب، سوف تكون سرعة السائل كافية لنقل جزء من جيب الهواء متنامي الحجم خلف السريان وسوف يتجمع الهواء عند نقطة عالية أخرى. إن مقدرة سرعة التدفق على موازنة حجم جيوب الهواء ربما تعمل على تقليل تأثير مساحة التدفق المتقلصة في الأنبوب، ولكن التأثير الخانق الذي يتسبب فيه وجود الهواء سوف يعمل دائماً على تقليل معدل التدفق لأقل من المعدل الوارد في التصميم. وتعد مشاكل جيوب الهواء صعبة التحري عنها، ولكن إذا تم السماح لها بالاستمرار فربما تكون استنفاداً مستمراً للطاقة.

وإن صمامات إطلاق الهواء التي يتم تركيبها عند النقاط العالية من النظام سوف تنغلق عندما تمتلئ بالسائل وعندها تكون معرضة للضغط. وأثناء تشغيل النظام، فإن جزيئات صغيرة من الهواء سوف تنفصل عن السائل وتدخل إلى الصمام. وسوف يحل كل جزيء من الهواء محل مقدار مساوي من السائل داخل الصمام ويقل منسوب السائل بالنسبة إلى الطفو. وعندما ينخفض منسوب السائل إلى نقطة بحيث لا يصبح الطفو قادراً على التعويم، فإن الطفو سوف ينخفض. وهذا الفعل يعمل على فتح فوهة الصمام ويسمح بإطلاق الهواء الذي تجمع في الجزء العلوي من الصمام ليتم إطلاقه في الهواء الجوي. وبإطلاق الهواء، يرتفع منسوب السائل داخل الصمام مرة أخرى، رافعاً الطفو ومغلقاً لفوهة الصمام. وتكرر الدورة نفسها بتكرار تجمع الهواء في الصمام.

(٢, ٣, ٣, ١٥) صمامات الهواء والبخار

يعمل صمام الهواء والبخار (AVV) بالطفو مع وجود فوهة تصرف كبيرة تساوي في الحجم مدخل الصمام. ويسمح هذا الصمام بتفريغ أحجام كبيرة من الهواء ودخولها إلى النظام أثناء ملئها أو تصريفها. وتسود الظروف التالية عند استخدام صمامات الهواء والبخار AVV في خطوط الأنابيب:

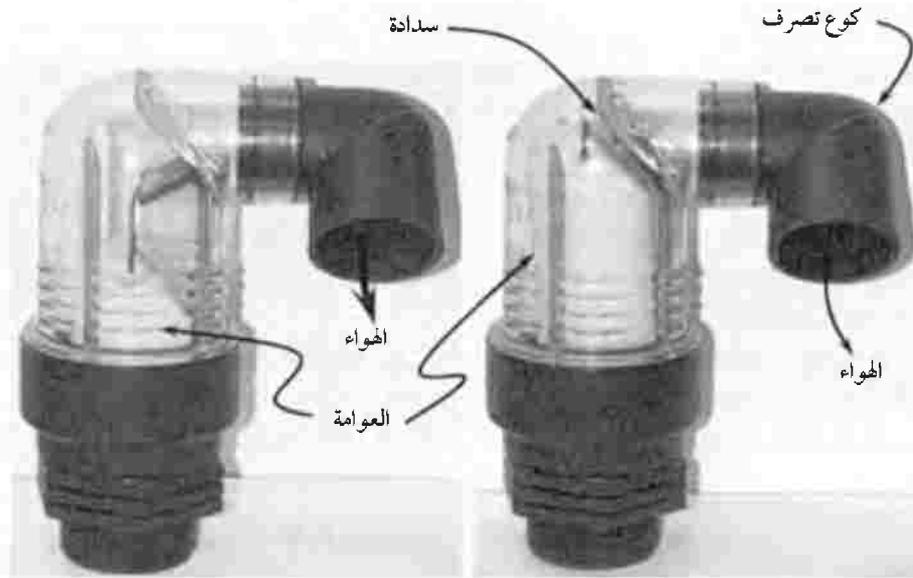
- قبل الملء، من الممكن اعتقاد أن خط الأنابيب يكون فارغاً، ولكن هذا غير صحيح. ففي الحقيقة يكون ممتلئاً بالهواء. ولا بد من إخراج الهواء من خط الأنابيب بأسلوب سلس ومنتظم لمنع دقات الضغط وأي ظواهر مدمرة أخرى.
- لمنع الفراغات المدمرة المحتملة من التكوّن، لا بد من إعادة دخول الهواء إلى خط الأنابيب نتيجة للضغط السالب. وحتى في تلك الحالات حيث لا تكون الحماية من الفراغ مشكلة رئيسية، تظل إعادة دخول الهواء حيوية للتصريف الفعال لخط الأنابيب ولتجنب فصل عمود المياه، الذي يمكن أن يكون مدمراً بنفس قدر دقات الضغط.
- وللقيام بالوظائف المذكورة، لا بد من تركيب صمام الهواء والبخار AVV عند كل نقطة عالية أو عند كل تغير في الميل، وعند نهايات خطوط الأنابيب، وعند صمامات العزل.

وعند امتلاء خط الأنابيب يتم إخراج الهواء إلى الغلاف الجوي من خلال صمام الهواء والبخار AVV. وإخراج الهواء، تدخل المياه إلى الصمام وترفع الطفو قريباً من فوهة الصمام. إن المعدل الذي يتم عنده إخراج الهواء يعد دالة في الفرق في الضغط الذي يتطور عبر فوهة تصريف الصمام. وهذا الاختلاف في الضغط يتطور عند امتلاء خط الأنابيب بالمياه ويعمل على انضغاط الهواء بدرجة تكفي لتوفير سرعة هروب مساوية لسرعة المائع الداخل. وحيث إن حجم الصمام يتحكم في الفرق في الضغط الذي يتم عنده إخراج الهواء، فإن اختيار حجم الصمام يعد عاملاً مهماً. وإذا كان الضغط الداخلي في خط الأنابيب قريباً من قيمة سالبة عند أي زمن أثناء تشغيل النظام نتيجة لفصل العمود، أو تصريف خط الأنابيب، أو انقطاع إمداد الطاقة، أو انكسار خط الأنابيب، فإن الطفو سوف ينخفض على الفور من الفوهة ويسمح للهواء بمعاودة الدخول إلى خط الأنابيب. وسوف تمنع إعادة دخول الهواء الفراغ من الحدوث وتعمل على حماية خط الأنابيب من الانهيار أو تمزق حدوث فصل العمود. سوف يعمل حجم صمام الهواء والبخار AVV على تحديد الدرجة التي يتم بها منع تكوّن الفراغ، وبالتالي، يعد اختيار حجج الصمام عاملاً هاماً. إن صمام الهواء والبخار AVV، الذي تم فتحه لتقبل الهواء في داخل خط الأنابيب استجابة للضغط السالب، يكون الآن جاهزاً مرة أخرى لإخراج الهواء. وسوف تتكرر هذه الدورة عند الضرورة.

وأثناء تشغيل النظام وفي الوقت الذي يكون فيه معرضاً للضغط سوف تدخل كميات صغيرة من الهواء إلى صمام البخار والهواء AVV من خط الأنابيب وتحل محل المائع. وفي النهاية، من الممكن أن يمتلئ صمام الهواء والبخار AVV بالكامل بالهواء ولكنه لن ينفث لأن ضغط النظام سوف يستمر في إبقاء الطفو قريباً من فوهة الصمام. وللتكرار، يتم تصميم صمام الهواء والبخار AVV لإخراج الهواء أثناء امتلاء خط الأنابيب ولتقبل الهواء أثناء تصريف خط الأنابيب. ولن ينفث ويقوم بتصريف الهواء عند تراكمه أثناء تشغيل النظام بل يتم استخدام صمامات إطلاق الهواء لهذا الغرض.

## صمامات الهواء التجميعية (١٥,٣,٣,٣)

تتكون صمامات الهواء التجميعية من الطفو الذي يتحرك بشكل رأسي داخل الصمام للتحكم في التصرف ودخول الهواء إلى خط الأنابيب (الشكل رقم ١٢, ١٥). وكما يتضمن اسمه، فإن صمامات الهواء التجميعية (CAVs) لها سمات تشغيل تشمل كلا من سمات صمامات الهواء والبخار، وصمامات إطلاق الهواء. وتسمى صمامات الهواء التجميعية CAVs أيضاً بصمامات الهواء مزدوجة الفوهة. ويتم تركيب صمامات الهواء التجميعية عند النقاط العالية من النظام والتي تم تحديدها بحيث يكون هناك حاجة للغرض المزدوج لصمامات الهواء والبخار، وصمامات إطلاق الهواء لتهوية وحماية خط الأنابيب. وبشكل عام، فمن الممارسات الهندسية الصحيحة استخدام صمامات الهواء التجميعية CAVs بدلاً من صمامات الهواء والبخار أحادية الغرض عند النقاط العالية.



الشكل رقم (١٥,١٢). صورة لصمام الهواء التجميعي عندما يكون الطفو في الوضع السفلي وعندما يرتفع ليعمل بطريقة مستمرة.

وتمنع صمامات الهواء التجميعية تراكمات الهواء عند النقاط العالية داخل النظام من خلال إخراج كميات كبيرة من الهواء عند امتلاء النظام وعن طريق إطلاق جيوب متراكمة من الهواء أثناء تشغيل النظام تحت ضغط. إن صمامات الهواء التجميعية تعمل كذلك على منع تكون الفراغات محتملة التدمير عن طريق السماح بدخول الهواء إلى النظام أثناء انقطاع مصدر الطاقة، أو فصل عمود المياه، أو حدوث صرف مفاجئ لخط الأنابيب.

#### (١٥,٤) توزيع المياه في التربة

إن الهدف من استخدام الري الدقيق هو إضافة المياه للنباتات الفردية بمعدلات بطيئة بدرجة كافية لمنع انتقال المياه من مكان لآخر على السطح. ويتم ري محاصيل الأشجار في الغالب باستخدام منقطات تقوم بإضافة المياه تحت ظلة النبات، بينما يتم إضافة المياه مع محاصيل الصفوف قريباً من النبات أو في الخط لتوفير المياه المطلوبة للإنتاج، ولكن التي تعمل على تقييد التبخر من سطح التربة المبلل. وتعمل نظم الري الدقيق المدفونة على تقليل تبخر سطح التربة في الوقت الذي تعمل فيه على توفير كميات كافية من المياه لأجل نمو النبات. وبالعكس، يكون الهدف من استخدام نظم الري بالرش هو التوزيع المنتظم للمياه فوق المنطقة لأجل استخدام المحصول لها. ولا بد من تصميم نظم الري بالرش لإضافة المياه بمعدل أقل من معدل التسرب لمنع الجريان السطحي. وتعتمد انتظامية إضافة المياه لنظام الرش بدرجة أقل على ديناميكا الرشاشات المنفردة وبدرجة أكبر على المسافات البيئية وضغط التشغيل. فالمسافات بين الرشاشات، وفي الأنظمة المتحركة سرعة الحركة ومسار الحركة يؤثران على انتظامية الري. وسيتم مناقشة تأثيرات الرياح والتبخر على الانتظامية بتفصيل أكبر في الفصل السادس عشر.

#### (١٥,٥) إعادة توزيع المياه في التربة

يتم تقييم انتظامية نظم الري بالرش عادةً على أساس التوزيع على سطح التربة. والمحصول، مع هذا، يعتمد على المياه المتاحة في منطقة الجذور. وسوف تتحرك المياه

داخل قطاع التربة نتيجة للميول المحتملة ، ويكون لجذور النباتات توزيع أفقي. وقام هارت (1972) Hart بتحليل إعادة التوزيع تحت السطحي ، باستخدام حلول نهائية الاختلاف لمعادلة الانتشار ثنائية البعد. وقد استنتج أن هناك توزيعاً تبادلياً داخل ١ م وتوزيع مياه تربة نهائي داخل تلك المسافة (كما هو موضح في الشكل رقم (٦, ٦)). وينتج نقص قدره ١٠٪ في متطلبات المياه الكلية نتيجة لإعادة توزيع مياه التربة لحقل اختبار واحد. وعند تواجد عدم الانتظامية عبر مدى مسافة أكبر من ١ إلى ٣ م ، فإن إعادة التوزيع تحت السطحي سوف يكون لها تأثير ضعيف على الانتظامية الكلية لمياه التربة.

وقدر سيجنر (1978) Seginer صافي خسارة قدره ١٨٠ دولار لكل هكتار في إنتاج القطن لنقص قدره ٠,١ في معامل الانتظامية نتيجة للإضافة غير المنتظمة للمياه. وتعد عدم الانتظامية الفعالة للمحاصيل المتنوعة دالة في نطاق نمو الجذور الأفقي للنباتات الفردية. وقام سيجنر (1979) Seginer بتحليل الزيادة في الانتظامية الفعالة لتوزيع المياه في بساتين الفاكهة مع وجود تنوع من الأشجار وتنوع من تباعد الرشاشات وزيادة محسوبة في الانتظامية الفعالة قدرها ٠,١. وتعد الانتظامية "الفعالية" مناسبة "لتحديد" النباتات التي يكون لها توزيع جذور أفقي محدود. وقد وجد أيضاً أنه عندما تكون الصفوف موازية للمسافات بين الرشاشات الأقصر في نظم إعداد التربة ، فمن الممكن الحصول على انتظامية أكثر فاعلية.

وتقوم نظم الري الدقيق بشكل عام بإضافة المياه مباشرة إلى منطقة الجذور. ولكن ، في بعض الحالات لا تعتمد المسافة بين المنقطات على الحركة الأفقية ليصبح متاحاً لنظام الجذور. وهذا صحيح بشكل خاص بالنسبة لمحاصيل الصفوف حيث لا يتم وضع المنقطات في كل صف وإنما بينها أو وسط المسافة بين كل صفين.

#### (١٥, ٦) ملخص

يعتمد تصميم وتشغيل نظم الري بالرش ونظم الري الدقيق على الاختيار الصحيح وانتقاء المكونات ، والذي يعتمد على توزيع ضغط المياه عبر النظام بأكمله.

ويناقدش هذا الفصل هيدروليكا الخطوط الرئيسة وخطوط الأنابيب الفرعية، وأداء أجهزة تنظيم الضغط، وخصائص الصمامات وحماية خطوط الأنابيب شائعة الاستخدام في نظم الري المضغوطة. وهناك عرض لأشكال ورسومات بيانية للاستخدام في التصميم والتشغيل، وهذا يؤثر على مقدرة التربة على إعادة توزيع مياه التربة وكذلك هناك عرض موجز لتأثير انتظامية إتاحة المياه للنباتات.

### قائمة الرموز

$a_1, b_1$	معاملات معادلة تصرف الرشاش.
C	معامل خشونة الأنبوب بالنسبة لمعادلة هيزن-ويليام.
c	سرعة موجة الضغط في خط الأنابيب، م/ث.
$C_d$	معامل التصرف بالنسبة لتصرف الرشاش.
D	القطر الداخلي للأنبوب، م.
$D_n$	قطر الفوهة، مم.
$d_1, d_2$	معاملات معادلة هيزن-ويليام ومعادلة سكوبي.
e	الخشونة المطلقة لجدار الأنبوب الداخلي، مم.
$E_i$	المنسوب عند المدخل i من خط الأنابيب، م.
$E_{i-1}$	المنسوب عند المخرج i من خط الأنابيب، م.
f	معامل دارسي-ويسباك للمقاومة.
F	معامل التصحيح للفقء في الضغط الجانبي عندما يكون الرشاش الأول على مسافة من المدخل تساوي المسافة بين الرشاشات.
$F'$	معامل التصحيح للفقء في الضغط الجانبي عندما يكون الرشاش الأول على مسافة من المدخل تساوي نصف المسافة بين الرشاشات.
g	عجلة الجاذبية، ٩,٨١ م/ث <sup>٢</sup> .
$H_a$	متوسط ضاغط الضغط على امتداد الخط الفرعي للرشاش، م.

$H_d$	متوسط ضاغط الضغط عند النهاية القصوى من الخط الفرعي للرشاش، م.
$h_f$	الفاقد في الضاغط، م.
$h_{fi}$	فاقد الضاغط نتيجة للاحتكاك في جزء من الأنبوب، م.
$H_{i-1}$	ضاغط الضغط عند مدخل جزء من الأنبوب، م.
$H_L$	ضاغط الضغط عند المسافة القطرية $L$ من نقطة المحور، م.
$H_{max}$	أقصى ضاغط ضغط على امتداد الخط الفرعي للرشاش، م.
$H_{min}$	أدنى ضاغط ضغط على امتداد الخط الفرعي للرشاش، م.
$H_o$	ضاغط الضغط عند المدخل إلى الخط الفرعي أو المحور، م.
$h_r$	فاقد الضاغط في حامل الرشاش، م.
$H_x$	ضاغط الضغط عند نصف القطر $x$ من المحور، م.
$K_s$	معامل التأخر بالنسبة لمعادلة سكوبي.
$L$	طول الأنبوب، م.
$L$	نصف قطر المساحة المروية، م.
$m$	الأس في معادلة الفاقد بالاحتكاك.
$N$	عدد الرشاشات على الخط الفرعي.
$P$	الضغط في خط الأنابيب، كيلوبسكال.
$P_d$	الضغط عند نهاية الخط الفرعي للرشاشات، كيلوبسكال.
$P_{min}$	أدنى قيمة لمتوسط الضغط على الخط الفرعي للرشاشات، كيلوبسكال.
$Q$	التصرف في الأنبوب، م <sup>٣</sup> /ث أو لتر/ث.
$q_s$	تصرف الرشاش، لتر/ث.
$q_d$	تصرف الرشاش الأخير على الخط الفرعي للرشاشات، لتر/ث.
$Q_x$	التصرف في الخط الفرعي عند نقطة على امتداد الخط الفرعي لتر/ث
	أو م <sup>٣</sup> /ث.
$R_e$	رقم رينولد.

الميل المنتظم للخط الفرعي من المدخل ، م/م .	$S_f$
سرعة السريان ، م/ث .	$V$
اللزوجة الكينيماتيكية ، م <sup>٢</sup> /ث .	$\nu$
الحجم الكلي المطلوب لخزان الدفع ، م <sup>٣</sup> .	$V_T$
المسافة إلى نقطة من المدخل إلى نقطة على امتداد الخط الفرعي للرشاشات ، م .	$x$

### المراجع

- Albertson, M. L., J. R. Barton, and D. B. Simons. 1960. Fluid Mechanics for Engineers. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, Inc.
- Christiansen, J. E. 1942. Irrigation by sprinkling. Univ. Calif. Agr. Exp. Sta. Bull. 670.
- Chu, S. T., and D. L. Moe. 1972. Hydraulics of a center pivot system. Trans. ASAE 15(5): 894-896.
- Hart, W. E. 1972. Subsurface distribution of nonuniformity applied surface waters. Trans. ASAE 15(4): 656-661, 666.
- Jensen, M. C., and A. M. Fratini. 1957 Adjusted "F" factor for sprinkler lateral design. Agric. Eng. 38(4): 247.
- Keller, J., and R. D. Bliesner. 1990. Sprinkle and Trickle Irrigation. New York, N.Y.: Van Nostrand Reinhold.
- Kincaid, D. C., and D. F. Heermann. 1970. Pressure distributions on a center-pivot sprinkler irrigation system. Trans. ASAE 13(5): 556-588.
- Liou, C. P. 1998. Limitations and proper use of the Hazen-Williams Equation. J. Hydraulic Eng. ASCE 124(9): 951-954.
- Lytle, W. F., and J. E. Winberly. 1962. Head loss in irrigation pipe couplers. Bull. No. 553. Baton Rouge, La.: Louisiana State Univ. and Agric. Mech. College, Agric. Exp. Station.
- Meadows, M. E., and T. M. Walski. 1998. Computer Applications in Hydraulic Engineering. Waterbury, Conn.: Haestad Press.
- Seginer, I. 1978. A note on the economic significance of uniform water application. Irrig. Sci. 1: 19-25.
- Seginer, I. 1979. Irrigation uniformity related to horizontal extent of root zone: A computational study. Irrig. Sci. 1: 89-96.
- von Bemuth, R. D. 1983. Nozzling considerations for center pivots with end guns. Trans. ASAE 26(2): 419-422.
- von Bemuth, R. D., and D. Baird. 1990. Characterizing pressure regulator performance. Trans. ASAE 33(1): 145-150.