الفصل الرابع

هيدروليكا نظم الري بالرش
Hydraulics of Sprinkle Irrigation Systems

(٤,١) مقدمة

هـــناك عامل هام يجب أخذه في الاعتبار عند تصميم أي نظام ري وهو التصميم الهيدروليكي. حيث أن إهمال هذا العامل سوف يؤدى إلى نظام ري غير جيد من حيث التصميم وبالتالي من حيث كفاءة الري. يعتمد نظام الري بالرش أساساً على ضخ الماء في شبكة من الأنابيب تبدأ من مصدر المياه وحتى خروجه من الرشاشات، والتصـــميم السليم يتطلب أتباع الخطوات الصحيحة التي تستند إلى معرفة ودراسة أساسيات تدفق المياه تحت ضغط في الأنابيب.

أن خصائص السريان في شبكات أنابيب الري بالرش معقدة نوعاً ما بسبب تغير التصرف على طول الأنابيب ووجود الكثير من اللواحق فضلاً عن التغيرات في المناسيب والارتفاعات. أن طرق التصميم التي يعتمدها مهندسو الري في هذا المجال تعتـــبر طرق تقريبية ومبسطة. إلا أنه يمكن القول بأن دقة هذه الطرق المبسطة في معالجـــة المســـائل المعقـــدة لسريان المياه في شبكة أنابيب الري هي ضمن الخطأ المســـموح بـــه في التصـــميم ودقة المعلومات المتعلقة بالبيانات وعوامل التصميم المختلفة. وعند دراسة هيدروليكا نظم الري بالرش لابد من دراسة وإيجاد الآتي:

١. فواقد الاحتكاك في الخطوط الفرعية والرئيسية.

٢. توزيع الضغط والتصرف في شبكة الأنابيب.

وهذا سوف يؤدي إلى استخدام أقطار الأنابيب الاقتصادية والمضخة المناسبة مما يقلل من التكاليف الأولية والتشغيلية، وبالتالي الحصول على نظام ري ذو كفاءة عالية.

(٤,٢) هيدروليكا نظم الري بالرش:

عند دراسة نظم الري بالرش لابد من معرفة ميكانيكا سريان السوائل في الأنابيب حتى يمكن الوصول إلى التصميم الجيد وبالتالي إختيار نظام الري المناسب للحقل المراد ريه. كذلك يجب دراسة العوامل المؤثرة على هيدروليكا نظم الري بالرش أثناء التصميم حتى يمكن إيجاد الضاغط الديناميكي الكلي المطلوب وبالتالي تعيين قدرة المضخة المطلوبة.

العوامل المؤثرة على هيدروليكا نظم الري بالرش:

هناك عوامل يجب اعتبارها عند دراسة هيدروليكا نظم الري بالرش هي :

١. كمية المياه المتاحة من المصدر بواسطة النظام.
٢. ضغط الماء الاستاتيكي الموجود.
٣. ضغط التشغيل المطلوب عند تدفق المياه.
٤. خصائص السريان للأنابيب والصمامات.
٥. فواقد الاحتكاك وسرعة السريان.
٦. الطرق المائي.
٧. تأدية الرشاش.

(٤,٣) أهمية التحليل الهيدروليكي : Importance of Hydraulic Analysis

يمكن ايجاز أهمية التحليل الهيدروليكي في النقاط التالية:

أ. تقليل المخاطرة الاقتصادية :

عند تطبيق هيدروليكا نظام الري بالرش في التصميم نستطيع الابتعاد عن التخمين والحسابات التقديرية، وبالتالي تجنب الأخطاء المكلفة.

ب. الحصول على تصميم جيد :

عـــدم المعرفة بذلك يؤدى إلى مبالغة في التصميم (Overdesign) مثل إختيار قطـــر أو مضخة أكبر من الفعلي المطلوب. معتقداً أن ذلك يحفظ النظام من المشاكل، وهذا يؤدى إلى زيادة التكلفة بالنسبة للمزارع. أو نقص أساسي (عجـــز) في التصـــميم (Underdesign) مـــثل إختيار قطر أصغر من الفعلي المطلـــوب حتى يقلل التكاليف فيؤدي إلى زيادة الفواقد. ويمكن تجنب ذلك عند معرفة التحليل الهيدروليكي.

(٤,٤) العلاقة بين الضغط والضاغط: Pressure and Head Relationship

عـــندما يكون الماء في وعاء ما وفي حالة سكون يكون الضغط Pressure (P) عـــند أي نقطة مساوياً للوزن النوعي للمياه (γ_w) × ارتفاع عمود المياه (h) فوق تلك النقطة. ويسمى ارتفاع المياه فوق تلك النقطة بضاغط الضغط Pressure head وأحـــياناً يســـمى بالضاغط head. والضغط والضاغط هي طرق مختلفة للتعبير عن معـــنى واحد. حيث أن ($P = \gamma_w . h$) وتستخدم وحدات كيلوبسكال (kPa) للتعبير عن الضغط بينما وحدة المتر (m) للتعبير عن الضاغط. ومن المعلوم أن الوزن النوعي للمـــياه عند ٢٠°م يساوي ١٠٠٠ كجم/م٣، الكيلوبسكال يساوي ٠,١٠٢ متر ضـــاغط مـــائي بينما ١متر ضاغط مائي يعادل ٩,٨١ كيلوبسكال من الضغط. ويجب ملاحظة أن الضاغط في نظم الري يتكون من عدة مكونات، وعند أي نقطة يمكن استخدام التعابير التالية:

- الضاغط الساكن Static head (Hs) عند أي نقطة: يساوي فرق الارتفاع بين تلك النقطة ومركز نقطة طرد المياه Discharge Point في ذلك النظام.
- ضـــاغط الضغط Pressure head (h) : يساوي الضغط (P) عند تلك النقطة مقسوماً على الوزن النوعي للماء (γ_w) .

- ضاغط السرعة Velocity head (h_v) : هو الضاغط المطلوب لسريان الماء من حالة السكون إلى السرعة عند تلك النقطة. وهو يعادل حسابياً $\frac{V^2}{2g}$.
- ضـــاغط الاحتكاك Friction head (h_f) : هو الطاقة المطلوبة لسريان الماء بين نقطتين على نفس الارتفاع ويعبر عنه بالمتر من الماء.
- الارتفـــاع فـــوق المنســـوب : هو ارتفاع تلك النقطة فوق منسوب ما يتم اختياره. ويكون الارتفاع (+) فوق المنسوب أو سالباً (−) أسفل المنسوب.

(٤,٥) تدفق المياه في الأنابيب: Water Flow In Pipes

تستخدم الأنابيب لنقل المياه إلى الرشاشات في نظم الري بالرش، ويحدث فواقد في الطاقة في خطوط الأنابيب بسبب احتكاك الماء مع السطح الداخلي لجدار الأنبوب وكذلك بسبب وجود الصمامات والمحابس الموجودة على امتداد الأنبوب واللازمـــة للـــتحكم في السريان وقياسه وكذلك تعتمد قيمة قطر الأنبوب وسمك جـــداره ومتانـــته على مقدار التصرف المنقول وعلى مقدار ضغط التشغيل لنظام الري.

أن خصـــائص السريان في شبكات أنابيب نظم الري بالرش معقدة للغاية بســـبب تغـــير التصـــرف على طول الأنابيب وكذلك وجود الكثير من اللواحق (الصمامات والمحابس .... الخ) فضلاً عن التغيرات في المناسيب والارتفاعات على امتداد أنابيب الشبكة.

هـــناك نوعـــان مـــن المسائل الهيدروليكية التي يتعامل بها مهندس تصميم شبكات أنابيب الري العاملة تحت ضغط هما:

أ . السريان في الأنابيب متعددة الفتحات التي يتناقص التصرف فيها باستمرار على طول امتداد الأنبوب كما يحدث في الخطوط الفرعية.

ب. السريان في الأنابيب ثابتة التصرف كما يحدث غالباً في الخط الرئيسي.

العوامل المؤثرة على التدفق في الأنابيب :

عند تدفق المياه داخل أنبوب يحدث انخفاض تدريجي للضغط وذلك بسبب الاحتكاك. ومن الناحية الهيدروليكية يمكن أن يكون السطح الداخلي للجدار شديد الخشونة بالرغم من نعومة ملمسه الظاهري. وتعمل خشونة الجدار على إبطاء سرعة تدفق المياه بنفس الطريقة التي يسبب بها الاحتكاك لهدئة لحركة جسم فوق سطح خشن. وبالتالي مع استخدام الأنبوب تزداد خشونة جدرانه عادة، فمثلا تسبب الحبيبات الصلبة في مياه الري خدوشا في السطح الداخلي لأنابيب الألومنيوم المتنقلة ومع طول فترة الاستعمال تحدث خدوش بالسطح. وفى حالة الأنابيب الصلب يبدأ حدوث الصدأ بها تدريجياً وتنتشر الحفر الصغيرة على الجدار ويمكن أيضا أن تلتصق بعض المكونات الكيميائية في المياه أو التجمعات البكتيرية على سطح الجدار الداخلي مما يزيد تدريجيا من خشونة الأنبوب ويقلل من قيمة القطر الداخلي وبالتالي يؤدى إلى حدوث فاقد في الضغط أكبر مما كان متوقعا للأنبوب وهو مازال جديداً. مثل هذه العوامل يأخذها المهندس المصمم عادة في حسبانه عند تصميم نظام ري جديد.

ولا تتوقف قيمة الفاقد في الضغط على الخشونة فقط، وإنما تعتمد أيضا على قيمة التصرف وقطر الأنبوب وطوله. فعند زيادة التصرف تزداد معه سرعة التدفق مما يسبب ارتفاعا كبيرا لقيمة الاحتكاك ينتج عنها فاقد أكبر في الضغط. وللتغلب على ذلك يمكن زيادة قطر الأنبوب المستعمل وهذا يعنى زيادة التصرف وسرعات أقل للتدفق. ويؤثر طول الأنبوب بشكل مباشر على الفاقد في الضغط، فكلما طالت المسافة التي تقطعها المياه زاد تعرضها للاحتكاك وارتفعت قيمة الفاقد في الضغط. وتأخذ العلاقات التي تربط العوامل السابقة مع بعضها البعض صورا معقدة وتقع على عاتق المهندس المصمم مسئولية تفهم هذه العلاقات واستخدامها في اختيار القطر المناسب.

وقبل الشروع في بيان فواقد الطاقة المختلفة، وتأثير اختلاف المناسيب والميول، سوف نتطرق بايجاز إلى ذكر أهم وأشهر معادلتين في ميكانيكا السريان في الأنابيب وهما : معادلة الاستمرارية، ومعادلة الطاقة، اللتان تعدان المفتاح لحل الكثير من مسائل التدفق في الأنابيب.

معادلة الاستمرارية Continuity Equation :

في الظروف العادية يعتبر الماء غير قابل للأنضغاط، وعلى ذلك يكون حجم الماء المار في مقطع معين للأنبوب خلال زمن معين يساوي الحجم المار في مقطع آخر لنفس الأنبوب ولنفس الزمن، أي أن التصرف يكون متساوياً في جميع المقاطع. اما إذا كان هناك تفرع أو تقابل لعدة أنابيب عند موضع معين فإن مجموع التصرفات الداخلة إلى نقطة الأتصال بينها يساوي مجموع التصرفات الخارجة منها. ويجب ملاحظة أن التصرف في أنبوب خط الرشاشات يتناقص باستمرار في اتجاه الطرف الحر. يعبر عن معادلة الاستمرارية في حالة السريان باتجاه واحد بالصورة التالية:

$$Q = AV \qquad (٤,١)$$

حيث أن:

Q = معدل التدفق الحجمي (م٣/ث).

A = مساحة المقطع الداخلي للأنبوب (م٢).

V = متوسط سرعة الجريان (م/ث).

معادلة الطاقة Energy Equation :

هناك ثلاث مكونات رئيسية لطاقة الماء الذي يمر خلال مقطع معين هي طاقة الضغط، وطاقة الوضع، وطاقة الحركة. ويحدث فقد في الطاقة أثناء سريان المياه داخل الأنابيب بسبب احتكاك الماء مع السطح الداخلي لجدار الأنبوب والوصلات الموجودة على الأنبوب، وكذلك بسبب اصطدام جزيئات الماء مع بعضها البعض أثناء السريان المضطرب. ويمكن التعبير عن التغير في الطاقة بين نقطتي *1* و *2* بتطبيق معادلة الطاقة كالآتي:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma_w} + \frac{V_1^2}{29} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma_w} + \frac{V_2^2}{29} + h_{loss} \qquad (٤,٢)$$

حيث أن:

Z_1 = ضاغط الوضع . منسوب الأنبوب عند النقطة ١ (متر).

$\frac{P_1}{\gamma}$ = ضاغط الضغط عند النقطة ١ (متر).

P = الضغط (كيلو بسكال أو كيلو نيوتن/م٢).

γ_w = الوزن النوعي للماء (كيلو نيوتن/م٣).

$\frac{V_1^2}{29}$ = ضاغط السرعة عند النقطة ١ (متر).

V = السرعة المتوسطة للتدفق (متر/ث).

g = عجلة الجاذبية الأرضية (متر/ث٢).

h_{loss} = فاقد الطاقة بين النقطة ١ والنقطة ٢ (متر).

وتمثل هذه الصيغة تطبيق قانون حفظ الطاقة على نقطتين في محور أنبوب ذو سريان مستقر، إذ أن الضاغط الكلي (Total Head) عند أي نقطة في الأنبوب يتألف من المكونات التالية:

١. ضاغط الوضع Potential Head

٢. ضاغط الضغط Pressure Head

٣. ضاغط السرعة Velocity Head

والفرق في الضاغط الكلي (الطاقة الكلية) بين أي نقطتين على الخط يساوي فاقد الطاقة Energy Loss بينهما، وفي معادلة الطاقة يمثل فاقد الطاقة h_{loss} نوعين من الفواقد، النوع الأول هو الفاقد بسبب الاحتكاك H_f الناتج عن مقاومة جزيئات الماء للاحتكاك بالجدران الداخلية للأنبوب، إضافة لاحتكاك الجزيئات ببعضها، ومنه يعرف ميل الاحتكاك أو ميل خط انحدار الطاقة للأنبوب المنتظم $S_f = \frac{H_f}{L}$ ، والنوع الثاني هو الفواقد الموضعية Local Losses التي تحدث من جراء اضطراب التدفق في الملحقات

obeikandl.com

(الوصلات) إن وجدت. وتسمى أيضاً الفواقد الصغرى Minor Losses ، وينبغي أخذها بالاعتبار حيثما وجدت.

ويمكن في نظم الري بالرش تجاهل قيمة $\frac{V^2}{2g}$ حيث أنها صغيرة بالنسبة لقيمة P و H_f وذلك لتسهيل تصميم الأنابيب. ولكن للحصول على تصميم أكثر دقة لابد من اعتبار سرعة السريان في العمليات الحسابية. ومن المعروف ان سرعة السريان في الخطوط الفرعية تقل بزيادة طول الانبوب حيث أن التصرف يقل وذلك لوجود فتحات على طول الأنبوب. ومن المعروف أن التغير المسموح به في الضغط (P) بين نقطتي البداية والنهاية لخط فرعي لا يتجاوز ٢٠٪ من متوسط الضغط وفرق المنسوب.

(٤,٦) فواقد الطاقة وتغيرات الضغط في أنابيب الري:

Energy Losses and Pressure Variation in Irrgation Pipe

تتكون شبكات أنابيب الري بالرش بوجه عام من الأنابيب الرئيسية التي ينقل خلالها التدفق الكلي، وأنابيب الرشاشات التي يتفرع إليها التدفق، وحوامل الرشاشات، والرشاشات. ويضاف الماء عادة في عملية الري بالرش بشكل منتظم على كامل الحقل، ويتوقف ذلك على مقدار ضغوط التشغيل المتاحة عند قواعد الرشاشات، وللحصول على درجات عالية من الانتظامية في التوزيع، يتطلب الأمر توفير الضغط اللازم لكل رشاش على حدة لتحقيق الأداء المرغوب منه، غير أنه في الواقع يختلف الضغط في الحقل من موقع لآخر نتيجة لعدد من الأسباب التي يمكن إجمالها في مقاومة الاحتكاك في الأنابيب، واضطراب التدفق في الملحقات، بالإضافة إلى اختلاف المناسيب في الحقل، وبشكل عام يؤدي السببان الأول والثاني إلى انخفاض الضغط باتجاه التدفق، بينما يؤدي اختلاف المناسيب إما إلى انخفاض الضغط أو زيادته حسب اتجاه الميل إلى الأعلى أو إلى الأسفل على الترتيب.

(٤,٦,١) فاقد الاحتكاك في الأنابيب (H_f) Pipe Friction Losses :

هـــناك عـــدة مصادر لفقد الطاقة في الأنابيب، وغالباً مايمثل الفاقد الناتج من احـــتكاك المياه مع جدران الأنبوب مضافاً إليه الأضطراب الحادث بين جزيئات الماء نفســـه الجزء الأكبر من الفاقد الكلي في الطاقة. بينما ينتج الجزء المتبقي من التغير في شـــكل أو مساحة مقطع التدفق عند مواضع معينة في الأنبوب بسبب وجود تغير في قطر الأنبوب أو صمام أو وصلات بين اجزاء الأنبوب أو انحناء في مسار السريان أو مرشح للمياه أو مقياس للضغط أو التصرف أو تفرع أو تقابل لعدة أنابيب ..... إلخ.

ويســـمى الفاقد في الطاقة نتيجة الاحتكاك والاضطراب بالفاقد الرئيسي أما الفـــاقد نتـــيجة شكل المقطع فيسمى بالفاقد الثانوي أو الموضعي أو فاقد الشكل. ويعـــتمد مقدار هذا الفاقد على خشونة السطح الداخلي للأنبوب، وقطر الأنبوب ولزوجة الماء، وتصرف الأنبوب أو سرعة السريان وطول الأنبوب. وهناك كثير من المعادلات الشائعة الاستخدام في إيجاد فواقد الاحتكاك في الأنابيب.

إذا اعتبرنا أن الماء يسري في أنبوب ما خلال المسافة بين النقطتين 1 , 2 كما في الشـــكل رقـــم (٤,١) فإن الماء الساري لابد وأن يفقد جزءاً من طاقته الكلية (الضـــاغط المـــائي الكلي) أثناء السريان وذلك نتيجة لاحتكاك جزيئات الماء مع جدران الأنبوب وعلى هذا الأساس إذا طبقنا معادلة الطاقة عند المقطعين 1 , 2 من الأنبوب فينتج الآتي:

$$E_1 = \frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + Z_1$$

$$E_2 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + H_f$$

حيـــث H_f هي مقدار الضاغط المفقود أثناء سريان جزيئات الماء من النقطة *1* إلى النقطة *2* نتيجة للاحتكاك مع جدران الأنبوب:

وبما أن الطاقة مقدار ثابت لايتغير أي إن $E_1 = E_2$ فأن:

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + Z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + H_f \qquad (٤,٣)$$

obeikandl.com

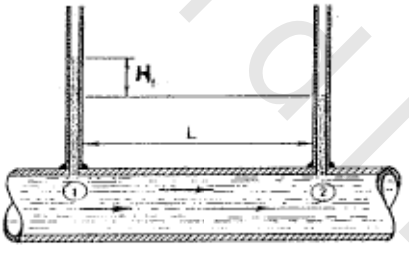
وبالتالي يكون:

$$H_f = \left(\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + Z_1\right) - \left(\frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + Z_2\right) \qquad (٤,٤)$$

وحيث أن المقطع الهندسي للأنبوب لم يتغير خلال المسافة L لذلك تتساوى $V1$ و $V2$ ويصبح فاقد الاحتكاك مساوياً :

$$H_f = \left(\frac{P_1}{\gamma} + Z_1\right) - \left(\frac{P_2}{\gamma} + Z_2\right) \qquad (٤,٥)$$

أي يساوي الفرق في الضاغط المائي بين أي نقطتين على خط السريان ويمكن قياس هذا الفرق عملياً إذا وصّلت جدار الأنبوب بمانومترات أو أنابيب صغيرة تسمى بيزومترات، الشكل رقم (٤,١)، فنجد أن ارتفاع الماء في البيزومتر عند المقطع 2 أقل من ارتفاعه في البيزومتر عند المقطع 1 ويمثل الفرق في الارتفاع بين منسوب الماء فيهما فاقد الضاغط المائي الناتج من الاحتكاك خلال السريان للمسافة L من الأنبوب.

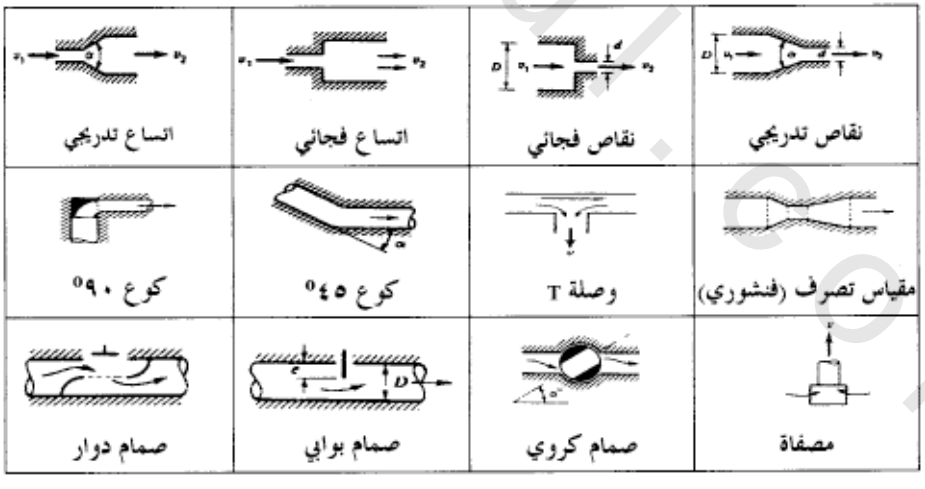


الشكل رقم (٤,١) الضاغط المفقود بالاحتكاك خلال سريان المياه في الأنابيب.

ومن الواضح أن مقاومة جدار الأنبوب للسريان تزداد كلما زادت سرعة السريان مما يسبب زيادة فاقد الاحتكاك، كذلك يزداد هذا الفاقد بزيادة مسافة السريان وزيادة خشونة جدار الأنبوب ومن الناحية العملية الأخرى فإن زيادة قطر الأنبوب تقلل من الفاقد بالاحتكاك حيث تقل نسبة الجزيئات القريبة من جدار الأنبوب والتي تعاني من مقاومة السريان.

(٤,٦,٢) الفواقد الثانوية (الموضعية) Minor (Local) Losses :

يطلق على فواقد الطاقة التي تنشأ عن الاضطراب الموضعي لنمط سريان المياه خلال الملحقات المختلفة لأنابيب شبكات الري أسم الفواقد الثانوية أو الموضعية، وذلك إشارة إلى ظهور آثارها في موضع وجود مسبباتها، خلافاً لفاقد الطاقة بسبب الاحتكاك في الأنابيب ذو الأثر المستمر على امتداد مسار تدفق المياه، وقد تسمى أيضاً فواقد الملحقات fitting losses نسبة لمسبباتها. وفي كثير من المراجع تدرج تحت أسم الفواقد الثانوية minor losses، وقد تواجه هذه التسمية بعض الاعتراض في بعض الاحيان، حيث أنه في كثير من شبكات توزيع المياه ربما تكون هذه الفواقد رئيسة major، وخاصة عندما يكون متوسط طول الأنابيب إلى أقطارها أقل من ١٠٠٠. ومن أمثلة الملحقات المستخدمة كثيراً في شبكات الري بالرش، الشكل رقم (٤,٢): الجلب couplers ، ووصلات tees T ، والأكواع elbows ، والنقاصات reducers ، والمحابس valves . وتحسب الفواقد الثانوية بمعادلة حسب نوع الملحق أو تقدر الفواقد الثانوية في شبكة الأنابيب على أنها تساوي حوالي ١٠٪ من فواقد الاحتكاك الكلية.



الشكل رقم (٤,٢) بعض ملحقات أنابيب شبكة الري بالرش المسببة للفواقد الثانوية

(٤,٦,٣) فاقد الميل: Slope Loss

تتميز شبكات الري بالرش بإمكانية استخدامها لري مساحات من الأرض ذات تضاريس مستعرجة، أو ميول حادة، إضافة للأراضي المستوية، وتؤدي الاختلافات في مناسيب الأرض إلى تغيرات في قيم الضغط داخل الأنابيب، وفي حالة الأنابيب الفرعية فإن هذه التغيرات تؤدي إلى اختلاف معدلات تصرف الرشاشات المركبة عليها، مما يؤثر على انتظامية أدائها، ويعود سبب هذه التغيرات في الضغط داخل الأنابيب لكونها محصلة انخفاض الطاقة باتجاه السريان نتيجة الاحتكاك، وفقد الطاقة أو كسبها تبعاً لاتجاه ميل الأنبوب للأعلى أو للأسفل. وللسبب نفسه تحدث أيضاً تغيرات في قيم الضغط داخل الأنبوب الرئيس، مما يترتب عليه أيضاً اختلاف في قيم الضغوط المتاحة عند النقاط المختلفة لاتصال الأنابيب الفرعية بالأنبوب الرئيس، والتي يفضل عادة أن لا تقل عن قيم محددة خاصة بظروف تشغيل كل أنبوب فرعي على حدة.

ومن المعلوم أن معادلة الطاقة التي سبق ذكرها تأخذ في الأعتبار فرق المنسوب بين النقاط محل الاهتمام، وعندما تكون مناسيب النقاط المختلفة التي توضع عليها الأنابيب معلومة فإن فرق المنسوب بين أي نقطتين يحسب مباشرة بالعلاقة :

$$\Delta Z = Z_1 - Z_2 \qquad (٤,٦)$$

كما أنه يحسب بمعلومية كل من الميل المنتظم S ، والمسافة بين نقطتين L بالعلاقة:

$$\Delta Z = S \cdot L \qquad (٤,٧)$$

حيث أن:

ΔZ = فرق المنسوب بين نقطتين (متر).

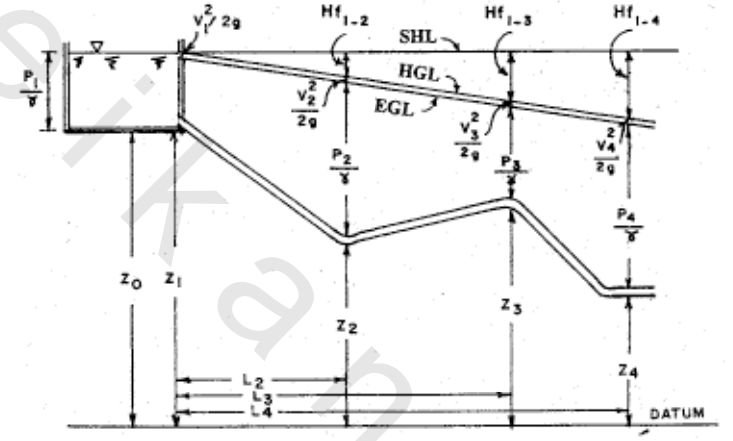
Z_2, Z_1 = منسوب نقطتين متعاقبتين (متر).

S = الميل المنتظم للأنبوب (٪).

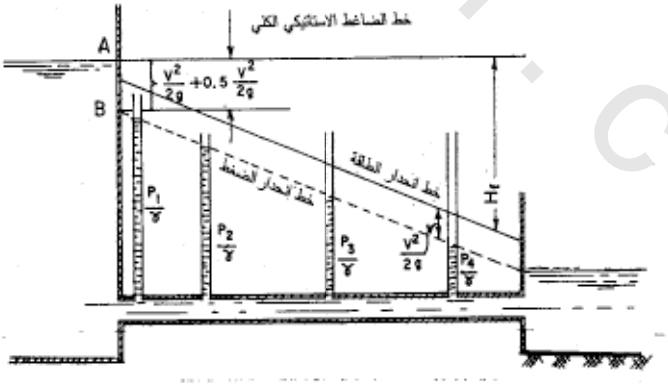
(٤,٧) توزيع الضغط في أنابيب الري بالرش:

Pressure distribution in Sprinkler Irrigation pipes

الشـــكل رقـــم (٤,٣) يوضح توزيع خطوط الطاقة لماء يتحرك على طول انـــبوب متغير الميل، والشكل رقم (٤,٤) يوضح توزيع خطوط الطاقة لماء يتحرك على طول انبوب أفقى. حيث أن:



الشكل رقم (٤,٣) توزيع خطوط الضاغط الكلي والمحدار الطاقة والمحدار الضاغط الهيدروليكي على طول أنبوب ذو ميل متغير.



الشكل رقم (٤,٤) توزيع خطوط الضاغط الكلي والمحدار الطاقة والمحدار الضغط أثناء سريان المياه في أنبوب أفقي.

- خط الضاغط الاستاتيكي Static Head Line (*S H L*) يبين توزيع الضغط في حالة عدم وجود سريان للمياه في الأنبوب.
- خط انحدار الطاقة Energy Grade Line (*E G L*) يصف تغير الضاغط الكلي على طول الأنبوب، شاملاً ضاغط السرعة عند حدوث السريان.
- خط الانحدار الهيدروليكي Hydraulic Grade Line (H G L) يمكن تعريفه بأنه يساوي خط انحدار الطاقة مطروحاً منه ضاغط السرعة $\frac{V^2}{2g}$. وهو يدل على مقدار ارتفاع الماء في أنبوب بيزومتري وضع في نقطة على طول الخط. أما خط الأنحدار الهيدروليكي يبين مقدار ضغط التشغيل الموجود عند أي نقطة على طول الأنبوب.

ويمكن تلخيص ذلك بالتعبير الرياضي الآتي:

$$EGL = \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + Z \qquad (٤,٨)$$

$$HGL = \frac{P}{\gamma} + Z \qquad (٤,٩)$$

$$SHL = \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + Z + H_f \qquad (٤,١٠)$$

يجب ملاحظة ان فرق المنسوب يؤثر مباشرة على الضغط وفاقد الاحتكاك على طول الانبوب كما يبين ذلك الشكل رقم (٤,٣). رغم أن هذه الخطوط وهمية إلا أنها توضح بصورة عملية مكونات الضاغط المائي المسبب للسريان.

ويلاحظ من الشكل رقم (٤,٤) أن انحدار الضغط ينتج عند توصيل مناسيب السائل في مجموعة من البيزومترات المثبتة في جدار انبوب السريان، والتي تبين تغيرات الضغط على طول خط السريان دون اعتبار لضاغط السرعة. وعلى ذلك يكون الفرق بين خط الضاغط الاستاتيكي (خط الضاغط الكلي) وخط انحدار الضغط ماهو الا ضاغط السرعة + فواقد الضاغط التي تحدث أثناء السريان ، أي أن :

$$SHL - HGL = \frac{V^2}{2g} + H_f \qquad (٤,١١)$$

ومن المعلوم ان فواقد الضاغط تشمل فاقد الاحتكاك الناتج من جدار الأنبوب الداخـــلي والفواقـــد الثانوية الناتجة عن المحابس والصمامات والمنحنيات ..... إلخ. وعـــلى ذلك إذا تخيلنا حدوث السريان خلال أنبوب مستقيم متماثل القطر فإن خط انحـــدار الضـــغط للماء الساري في هذا الأنبوب لابد ان ينحدر مع اتجاه السريان، الشكل رقم (٤,٤). وفي نفس الوقت يعبر الفرق بين النقطتين A ، B عن الضاغط المفقود اثناء دخول الماء إلى الأنبوب مضافاً إليه ضاغط سرعة السريان.

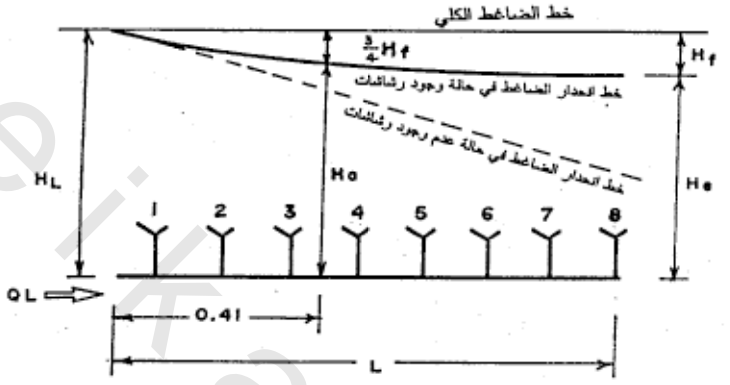
لذلـــك نلاحظ ان الفواقد في الضاغط على خط السريان يصحبها حدوث انخفـــاض في خـــط انحـــدار الضاغط مساوياً لها في القيمة ويحدث ذلك في جميع الحـــالات المسببة للفقد في الضاغط باستثناء حالة واحدة إلا وهي حدوث توسعة فجائية أو تدريجية، بالرغم من أن هناك فقد في الضاغط الا ان خط انحدار الضاغط يرتفع بمقدار يساوي الفرق بين الانخفاض في ضاغط السرعة وفاقد التوسعة.

مما سبق يمكن استخلاص النقاط الآتية:

١. يعتبر خط انحدار الضغط (الضاغط) دليلاً لحالة الضغط على طول الأنابيب.
٢. في الأنابيـــب المصنوعة من نفس المادة والمتماثلة في القطر يزداد انحدار خط الضـــغط كلما زادت سرعة السريان حيث أن فاقد الاحتكاك H_f يتناسب مع مربع السرعة.
٣. عند أي نقطة على طول خط السريان يكون الفرق الرأسي بين خط الطاقة الكلـــية (خـــط الضـــاغط الاستاتيكي) $S.H.L$ وبين خط انحدار الضاغط ($H.G.L$) مساوياً لضاغط السرعة + فاقد الاحتكاك + الفواقد الثانوية.

ويجـــب ملاحظة ان درجة انحدار خط الانحدار الهيدروليكي تختلف في حالة وجـــود فتحات على الأنبوب كالرشاشات مثلاً من عدمها ، فيكون أكثر انحدار في

حالـــة عدم وجود فتحات كما يوضح ذلك الشكل رقم (٤,٥) والسبب في ذلك يرجع إلى زيادة الفواقد، لأن سرعة السريان والتصرف لم يتغيرا على طول الأنبوب.



الشكل رقم (٤,٥) توزيع الضاغط وفاقد الأحتكاك على طول الخط الفرعي

(٤,٨) تقدير الفاقد بالاحتكاك: Deteremining Friction Loss

هـــناك العديـــد من المعادلات التي قدمت على مدى فترة طويلة من الزمان لحســـاب فـــاقد الاحـــتكاك في الأنابيب للموائع المختلفة ، مثل معادلات كل من: دارســـي – ويســـباخ Darcy-Weisbach ، هيزن – ويليام Hazen-Williams ، مانينج Manning وســـكوبي Scobey. ولكل من هذه المعادلات ميزات واستخدامات خاصة بها ، وفيما يلي أهم هذه المعادلات وأكثرها انتشاراً في تصميم شبكات الري بالرش:

١. معادلة دارسي – ويسباخ :– Darcy - Weisbach's Equation

$$H_f = f \times \frac{L}{d} \times \frac{V^2}{2g} \qquad (٤,١٢)$$

ويمكن كتابتها في صورة أخرى عند معرفة التصرف كالتالي :–

$$H_f = \frac{8f \cdot L \cdot Q^2}{g \cdot \pi^2 \cdot d^5} \qquad (٤,١٣)$$

حيث أن :-

H_f = فاقد الضاغط بسبب الاحتكاك (متر).

f = معامل دارسي – ويسباخ للاحتكاك (بدون وحدات).

V = السرعة المتوسطة للمياه (م/ث).

d = قطر الأنبوب الداخلي (متر).

L = طول الأنبوب (متر).

g = عجلة الجاذبية الأرضية (م/ث٢).

Q = تصرف الأنبوب (م٣/ث).

تعـــد هذه المعادلة الأكثر شيوعاً في تطبيقات التدفق في الأنابيب، ورغم أنها الأكثر تعقيداً إلا أنها أكثرها دقة. وتعتبر هذه المعادلة في الأصل تجريبية إلا أنها أيضاً نظرية وذلـــك لإمكانية اشتقاقها من استقصاء جهد القص للسائل قرب جدار الأنبوب الأملس وقوانين التشابه أو التحليل البعدي. ولحل معادلة دارسي ينبغي تقدير قيمة مناســـبة لمعامل الاحتكاك f تناسب ظروف السريان الأنية، ويرتبط حساب معامل الاحتكاك بنمط السريان الذي يصنف بدوره حسب قيمة رقم رينولدز (R_n) .

٢. معادلة هيزن – ويليام : Hazen - William's Equation

$$H_f = K \times L \times \left(\frac{Q}{C_{HW}} \right)^{1.852} \times d^{-4.87} \qquad (٤,١٤)$$

حيث أن :-

C_{HW} = معامل هيزن ويليام للأحتكاك ويعتمد على نوع مادة الأنبوب.

K = معامل ثابت حسب الوحدات المستخدمة كالتالي :

$$K = 1.22 \times 10^{10} \quad for \quad H_f\,(m)\ ,\ L\ (m)\ ,\ Q\ (L/s)\ \ ,\ d\ (mm)$$

$$K = 10.46 \quad for \quad H_f\,(ft)\ ,\ L\ (ft)\ ,\ Q\ (gpm)\ ,\ d\ (inch)$$

وهذه المعادلة تكون أقل دقة عندما يقترب رقم رينولد من مدى قيم الجريان الطبقي ولكنها تعتبر من أكثر المعادلات استخداما في حساب فاقد الاحتكاك في أنابيب نظم الري بالرش لأنها سهلة الاستخدام. وقد توجد صور أخرى لهذه المعادلات التجريبية حسب العناصر المستخدمة في حسابها. فيما يلي بعض قيم معامل هيزن – ويليام (C_{HW}) حسب نوع مادة الأنبوب المستخدم:

المادة	حديد صلب	بلاستيك مرن (PE)	بلاستيك قاسي (PVC)	ألمنيوم مع وصلات
قيمة C_{HW}	١٤٠-١٠٠	١٥٠-١٣٠	١٥٠-١٤٠	١٣٠ - ١١٠

ويمكن استنتاج الآتي عند حساب فاقد الاحتكاك :

- الفاقد في الضغط يكون أعلى كثيرا في الأنابيب الأصغر قطراً لنفس التصرف.
- يزداد الفاقد في الضغط بسرعة مع زيادة التصرف خاصة في الأنابيب صغيرة القطر.
- يزداد الفاقد مباشرة بزيادة طول الأنبوب. فإذا تضاعف الطول فان الفاقد في الضغط يتضاعف أيضاً.

توصيل الأنابيب وتأثيرها على فواقد الطاقة:

من الشائع استخدام عدة اقطار مختلفة في الخطوط الرئيسية وشبه الرئيسية لشبكة الري بالرش، وأحياناً في خطوط الرشاشات أيضاً. وقد يكون التوصيل بينها على التوالي أو التوازي أو الأثنين معاً كالآتي:

أ. توصيل الأنابيب على التوالي:

في هذه الحالة (الشكل رقم ٤,٦أ) يكون التصرف المار خلال الأنابيب المتوالية متساوياً حيث أن:

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = \cdots = Q_n \qquad (٤,١٥)$$

أما فاقد الاحتكاك الكلي خلال هذه الأنابيب فيساوي مجموع الفواقد الجزئية لكل أنبوب أي أن:

$$H_f = \sum_{n}^{1} h_{f_i} = h_{f_1} + h_{f_2} + \cdots + h_{f_n} \qquad (٤,١٦)$$

ب. توصيل الأنابيب على التوازي:

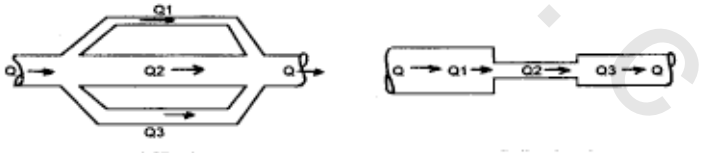
في هـــذه الحالـــة (الشكل رقم ٤,٦ب) يتوزع التصرف Q المار في بداية الأنبوب الأصلي قبل التفرع إلى الأنابيب الفرعية بحيث:

$$Q = \sum_{n}^{1} Q_i = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \cdots + Q_n \qquad (٤,١٧)$$

أمـــا الفـــاقد في الطاقـــة بين النقطتين (موضعي التفرع والتقابل) فيكون متساوياً للأنابيب المختلفة أي أن:

$$h_{f_1} = h_{f_2} = h_{f_3} = \cdots = h_{f_n} \qquad (٤,١٨)$$

وعـــند حساب الفاقد الكلي في الطاقة لخط أنابيب به جزء متفرع (على التوازي) فيراعى اضافة الفاقد لواحدة من الأنابيب على التوازي وليست كلها.



أ. على التوالي ب. على التوازي

الشكل رقم (٤,٦) توصيل الأنابيب.

(٤,٩) فواقد الاحتكاك في الخط الرئيسي: Friction Losses In Mainline

بالنسبة لفاقد الاحتكاك في الأنابيب الرئيسية فيجب حساب فاقد الاحتكاك في هـــذه الأنابيب. وقد يتكون الخط الرئيسي في الشبكة من أكثر من قطر لذلك لابد من حســـاب الفاقد حسب طول وقطر كل جزء مع مراعاة التغير في انحدار سطح الأرض. ولكـــن الناحـــية الاقتصادية هي عامل رئيسي عند اختيار قطر الأنبوب وتصميم الخط الرئيســـي. بمعنى انه يجب اختيار أصغر الأقطار (أقل التكاليف)، ولكن يجب الموازنة بين التكالـــيف والفواقد التي تزداد مع صغر الأقطار. لذلك يجب دراسة طبوغرافية الأرض وفهمه حتى يمكن الاستفادة منه لأنه يعتبر عامل رئيسي عند تصميم خط رئيسي.

(٤,١٠) فاقد الاحتكاك في الخط الفرعي : Friction Loss in Lateral

فاقد الاحتكاك الناتج من سريان تصرف معين في أنبوب ذو قطر معين يقل في حالـــة وجـــود مخـــارج (فتحات) على طول الأنبوب عنه إذا لم توجد هذه المخارج. وبالتالي عند زيادة هذه المخارج يقل فاقد الاحتكاك والسبب في ذلك أن جـــزء مـــن التصـــرف يخرج من هذه الفتحات وبالتالي يقل التصرف على طول الأنبوب وهذا يؤدى إلى خفض سرعة السريان والضغط مما يؤدى إلى خفض فاقد الاحـــتكاك. وقد تم استنتاج معامل يسمى معامل الفتحات (F) ليأخذ في الاعتبار وجـــود هـــذه الفتحات عند حساب فاقد الاحتكاك في الخط الفرعي باستخدام معـــادلات فواقـــد الاحـــتكاك، ويمكن إيجاد قيمة (F) مباشرة من جداول خاصة (الجدول ٤,١) أو من المعادلة التالية :-

$$F = \frac{1}{m+1} + \frac{1}{2N} + \frac{\sqrt{m-1}}{6N^2} \qquad (٤,١٩)$$

حيث أن :-

m = ثابت يعتمد على نوع معادلة فاقد الاحتكاك المستخدمة

N = عدد الفتحات على طول الأنبوب

obeikandl.com

الجدول رقم (٤,١) معامل التصحيح F لفاقد الاحتكاك h_f للخطوط الفرعية.

عدد الرشاشات	معادلة هيزن ويليام $h_f=K\cdot L\cdot\left(\frac{Q}{C_{HW}}\right)^{1.852}\cdot d^{-4.87}\cdot F$		معادلة سكوبي $h_f=K\cdot K_s\cdot L\cdot V^{1.9}\cdot d^{-1.1}\cdot F$		معادلة دارسي ويسباخ $h_f=f\cdot\frac{L}{d}\cdot\frac{V^2}{2g}\cdot F$	
	١,٨٥٢***		١,٩٠٠***		٢,٠٠٠***	
N_{sp}	*	**	*	**	*	**
١	١,٠٠٠	١,٠٠٠	١,٠٠٠	١,٠٠٠	١,٠٠٠	١,٠٠٠
٢	٠,٦٣٩	٠,٥١٩	٠,٦٣٤	٠,٥١٢	٠,٦٢٥	٠,٥٠٠
٣	٠,٥٣٤	٠,٤٤١	٠,٥٢٩	٠,٤٣٥	٠,٥١٩	٠,٤٢٢
٤	٠,٤٨٥	٠,٤١٢	٠,٤٨٠	٠,٤٠٥	٠,٤٦٩	٠,٣٩٣
٥	٠,٤٥٧	٠,٣٩٦	٠,٤٥١	٠,٣٩٠	٠,٤٤٠	٠,٣٧٨
٦	٠,٤٣٨	٠,٣٨٧	٠,٤٣٣	٠,٣٨١	٠,٤٢١	٠,٣٦٩
٧	٠,٤٢٥	٠,٣٨١	٠,٤١٩	٠,٣٧٥	٠,٤٠٨	٠,٣٦٣
٨	٠,٤١٦	٠,٣٧٧	٠,٤١٠	٠,٣٧٠	٠,٣٩٨	٠,٣٥٨
٩	٠,٤٠٨	٠,٣٧٣	٠,٤٠٢	٠,٣٦٧	٠,٣٩١	٠,٣٥٥
١٠	٠,٤٠٢	٠,٣٧١	٠,٣٩٦	٠,٣٦٥	٠,٣٨٥	٠,٣٥٣
١١	٠,٣٩٧	٠,٣٦٩	٠,٣٩٢	٠,٣٦٣	٠,٣٨٠	٠,٣٥١
١٢	٠,٣٩٣	٠,٣٦٧	٠,٣٨٨	٠,٣٦١	٠,٣٧٦	٠,٣٤٩
١٣	٠,٣٩٠	٠,٣٦٦	٠,٣٨٤	٠,٣٦٠	٠,٣٧٣	٠,٣٤٨
١٤	٠,٣٨٧	٠,٣٦٤	٠,٣٨١	٠,٣٥٨	٠,٣٧٠	٠,٣٤٧
١٥	٠,٣٨٥	٠,٣٦٣	٠,٣٧٩	٠,٣٥٧	٠,٣٦٧	٠,٣٤٦
١٦	٠,٣٨٢	٠,٣٦٣	٠,٣٧٧	٠,٣٥٧	٠,٣٦٥	٠,٣٤٥
١٧	٠,٣٨١	٠,٣٦٢	٠,٣٧٥	٠,٣٥٦	٠,٣٦٣	٠,٣٤٤
١٨	٠,٣٧٩	٠,٣٦١	٠,٣٧٣	٠,٣٥٥	٠,٣٦٢	٠,٣٤٤
١٩	٠,٣٧٧	٠,٣٦١	٠,٣٧٢	٠,٣٥٥	٠,٣٦٠	٠,٣٤٣
٢٠	٠,٣٧٦	٠,٣٦٠	٠,٣٧٠	٠,٣٥٤	٠,٣٥٩	٠,٣٤٢
٢٢	٠,٣٧٤	٠,٣٥٩	٠,٣٦٨	٠,٣٥٣	٠,٣٥٦	٠,٣٤١
٢٤	٠,٣٧٢	٠,٣٥٨	٠,٣٦٦	٠,٣٥٢	٠,٣٥٤	٠,٣٤١
٢٦	٠,٣٧٠	٠,٣٥٨	٠,٣٦٤	٠,٣٥٢	٠,٣٥٣	٠,٣٤٠
٢٨	٠,٣٦٩	٠,٣٥٧	٠,٣٦٣	٠,٣٥١	٠,٣٥١	٠,٣٤٠
٣٠	٠,٣٦٧	٠,٣٥٧	٠,٣٦٢	٠,٣٥١	٠,٣٥٠	٠,٣٣٩
٣٥	٠,٣٦٥	٠,٣٥٦	٠,٣٥٩	٠,٣٥٠	٠,٣٤٨	٠,٣٣٨
٤٠	٠,٣٦٣	٠,٣٥٥	٠,٣٥٧	٠,٣٤٩	٠,٣٤٦	٠,٣٣٨
٥٠	٠,٣٦١	٠,٣٥٤	٠,٣٥٥	٠,٣٤٨	٠,٣٤٣	٠,٣٣٧
١٠٠	٠,٣٥٦	٠,٣٥٢	٠,٣٥٠	٠,٣٤٧	٠,٣٣٨	٠,٣٣٥

(*) أول رشاش على بعد مسافة كاملة من بداية الخط الرئيسي.

(**) أول رشاش على بعد نصف مسافة من بداية الخط الرئيسي.

(***) الأس m على رمز السرعة.

obeikandl.com

ويجب ملاحظة قيمة معامل الفتحات (F) والتي تتوقف على عدد المخارج في الخط. كذلك يجب ملاحظة مسافة أول مخرج من نقطة الاتصال بالخط الرئيسي، حيث قد تكون هذه المسافة مساوية لنصف المسافة بين المخارج أو تكون مسافة كاملة مساوية للمسافة بين المخارج وهذه تؤثر على قيمة معامل الاحتكاك (F) والجدول رقم (٤,١) يوضح قيم (F) لأعداد مختلفة من المخارج عند استخدام معادلات فواقد الاحتكاك. وفى الري بالرش يستخدم معامل الفتحات (F) عند حساب فاقد الاحتكاك في الخطوط الفرعية والرئيسية. ففي حالة الخطوط الفرعية نجد أن (F) تمثل عدد الرشاشات على الخط الفرعي الواحد. أما في حالة الخطوط شبه الرئيسية والرئيسية نجد أن (F) يمثل عدد الفتحات التي تتصل بخطوط الرشاشات والتي تعمل في وقت واحد. وحساب (F) في الخطوط الرئيسية يعطى أكثر دقة عند حساب فاقد الاحتكاك. وقد يمكن تجاهل (F) عند تصميم الخطوط الرئيسية واعتباره أنبوب مصمت بدون فتحات، ولكن يفضل أخذ عدد الفتحات في الاعتبار عند حساب الفاقد.

أن اختلاف الضغط على طول الخط الفرعي بسبب فاقد الاحتكاك يؤدي إلى اختلاف التصرف الخارج من الرشاشات مما يسبب عدم انتظام توزيع المياه الناتجة من الرشاشات. ولتحقيق انتظام جيد لتوزيع المياه يجب ألا يتجاوز الاختلاف بين أكبر واقل تصرف للرشاشات في الخط الفرعي الواحد ١٠٪ من التصرف التصميمي للرشاش. لتحقيق ذلك يجب أن لا تتعدى الفواقد الكلية المسموح بها (h_L) في الخط ٢٠٪ من ضاغط التشغيل التصميمي للرشاش (H_{SP}).

ويمكن تحديد مصادر الفواقد الثانوية (الوصلات ، الصمامات ، .... إلخ) في الخطوط الفرعية وتقديرها بدقة بدلالة ضاغط السرعة في بداية الخط $\left(V^2/2g\right)$ ، أو تؤخذ حوالي ١٠٪ من الفاقد نتيجة الاحتكاك (H_f). وعلى ذلك يمكن إيجاد فواقد الاحتكاك المسموح بها (h_L) مع الأخذ في الاعتبار ضاغط فرق المنسوب (ΔH_Z) كالتالي:

$$h_L = 1.1\,H_f \le 0.20\,H_{sp} \pm \Delta H_z \qquad (٤,٢٠)$$

أو يمكن كتابتها كالتالي:

$$h_L \pm \Delta H_z \le 0.20\, H_{sp} \qquad (٤,٢١)$$

حيث أن :-

H_{sp} = متوسط ضاغط التشغيل للرشاش .

h_L = فاقد الضغط المسموح به ويشمل فاقد الاحتكاك والتغير في المنسوب.

ΔH_z = ضـــاغط فرق المنسوب بين بداية ونهاية الخط ، وهو موجب للخط الهابط إلى اسفل وسالب للخط الصاعد إلى أعلى. $\Delta H_z = S \cdot L$

L = طول الخط.

S = ميل الخط (٪).

وبالتالي إذا كان الخط مائل (هابط) لأسفل تكون العلاقة :

$$h_L = 1.1\, H_f \le 0.20\, H_{sp} + \Delta H_z \qquad (٤,٢٢)$$

حيـــث يمكن الاستفادة بالضغط الناتج عن فرق المنسوب (ΔH_z) بين طرفي الخط وإضافته إلى الفاقد المسموح. أما إذا كان الخط مائل لأعلى تكون العلاقة:

$$h_L = 1.1\, H_f \le 0.20\, H_{sp} - \Delta H_z \qquad (٤,٢٣)$$

(٤,١١) الطرق المائي : Water Hammer

الطـــرق المـــائي عـــبارة عن موجات سريعة جدا من الضغوط المرتفعة و/أو المنخفضة والتي تتولد عند موضع معين في الأنبوب نتيجة تغيير مفاجئ وسريع لسرعة تدفـــق المـــياه. وذلـــك بسبب مؤثر خارجي مثل إغلاق أو فتح صمام التحكم في التصرف، وإيقاف وتشغيل المضخة ..... الخ . فمثلا عند إغلاق صمام التحكم في لحظات وجيزة تجبر المياه المتدفقة على التوقف السريع، وتتحول الطاقة الحركية لها إلى طاقة ضغط، مما يؤدى إلى حدوث ارتفاع كبير جداً في قيمة ضغط المياه أمام الصمام، ويقابله انخفاض شديد في الضغط خلف الصمام. حيث تتوالى عملية تحويل الطاقة مع وصول الكتل المتتابعة من المياه ، ويتوالى الارتفـــاع في الضغط معها .

obeikandl.com

ويتوقف مقدار الضغط المتقطع المرتبط بالطرق المائي على:

١. هندسة النظام.
٢. مقدار التغير في السرعة.
٣. سرعة موجة الضغط لنظام معين.

وتحـــدث مشـــاكل الطرق المائي بكثرة عند وجود أنابيب صغيرة الحجم ومع وجود سرعات عالية للمياه المتدفقة . أيضا وجود خطوط رئيسية طويلة يساعد على حـــدوث الطـــرق المائي. وفى هذه الحالة ينصح باستخدام سرعات تدفق منخفضة. فمثلا عند وجود أنبوب سرعة تدفق المياه فيه ١ متر/ثانية وتم إغلاق مفاجئ لصمام الـــتحكم. فسوف يؤدى ذلك إلى زيادة في الضغط أمام الصمام تصل إلى ١٠٠٠ كيلوبسكال في حالة عندما يكون الأنبوب من الحديد الصلب، ٨٠٠ كيلوبسكال في حالة الأنبوب من الألمنيوم. وإذا كانت سرعة التدفق ٢ متر/ثانية فان الزيادة في الضـــغط أمام الصمام تتضاعف، فتصبح ٢٠٠٠ كيلوبسكال (أي ما يعادل عمود مـــن المـــاء ارتفاعه ٢٠٠ متر) للأنبوب الصلب، و١٦٠٠ كيلوبسكال للأنبوب الألمنيوم، وهكذا.

يمكـــن أن يصـــبح الطرق المائي مشكلة خطيرة في نظم الري بالرش. هذه الظاهـــرة مألوفة لمعظم الطلاب في الاستخدامات المترلية، حيث تظهر الطرقة المائية عـــلى صـــورة ضوضاء تتميز بضربات ترددية تحدث غالبا عند إغلاق محبس المياه الـــباردة بســـرعة كبيرة. وهذه الضربات ماهى إلا موجات ضغط مرتفع تتحرك بسرعة عالية خـــلال أنبوب المياه نتيجة الإيقاف المفاجئ للمياه عند المحبس.

عموما يمكن القول بأن ظاهرة الطرق المائي تنتج من تغيرات فجائية تحدث في شـــبكة الأنابيـــب. وهذه التغيرات تؤدى إلى حدوث موجات ضغط مرتفع تتحرك بسرعة عالية خلال أنبوب المياه، ويمكن أن تتولد ضغوط تفوق ضغط التشغيل المعتاد بعـــدة مرات قد يؤدى في بعض الحالات إلى انفجار الأنابيب أو أتلاف المضخات. وقد يحدث الطرق المائي بسبب واحد أو أكثر من العوامل التالية :-

١. الإغلاق السريع لصمام التحكم أو محبس الري.
٢. بـــدء تشغيل وإيقاف المضخات، المضخة الكهربائية تتوقف بسرعة عن الدوران إذا حدث انقطاع للطاقة الكهربائية.
٣. انسداد مفاجئ في الأنبوب أو في فوهة الرشاش.
٤. مرور عجلات آلة فوق أنبوب مرن.

ويمكـــن تجنـــب حـــدوث الطرق المائي بتجنب حدوث تغير مفاجئ في التصرف وذلك عند أتباع الآتي :-

١. تشغيل أو إيقاف المضخة تدريجيا.
٢. إغلاق الصمامات أو محابس الري ببطء.
٣. تجنب مرور العجلات فوق الأنابيب المرنة.
٤. تجنب مشاكل الانسداد باستعمال مرشحات مع الصيانة المستمرة.

بالإضافة إلى ذلك يوجد بعض مسببات الطرق المائي التي لا يمكن تجنبها في نظم الري بالرش، لذلك فمن الشائع عمليا استخدام صمام عدم رجوع (Reflux Valve) لحماية المضخة من الأضرار المتوقعة.

الأضرار المحتملة من حدوث الطرق المائي :

أن الارتفـــاع الناشـــئ في ضغط المياه عقب حدوث الطرق المائي يكون كبير جداً بحيث يتسبب في الآتي أو في بعض منها :

- انفجار الأنبوب.
- أتلاف الوصلات وأجزاء المضخة والصمامات.
- حدوث تأكل تدريجي لمكونات شبكة الري.

أما الانخفاض الشديد في الضغط قد يؤدى إلى :-

- تكوين فقاعات هوائية كبيرة داخل الأنبوب.
- الإقلال من مقدار تصرف الماء خلال الأنبوب.

obeikandl.com

- تسبب الفقاعات ضوضاء مرتفعة واهتزازاً شديداً للأنبوب والأجهزة الأخرى المتصلة به.
- هذه الفقاعات لا تظل في حالة ثبات وإنما تنكمش وتنفجر بعد زمن وجيز من تكونها.

الحد من خطورة الطرق المائي :

يمكن عمليا تقليل احتمال حدوث الطرق المائي بمراعاة تجنب أحداث تغير سريع في سرعة المياه داخل الأنبوب، سواء كان ذلك بالزيادة أو النقصان وهذا يستلزم البطء والتدرج في فتح أو إغلاق الصمام. ويستلزم أيضا منع الأسباب التي قد تؤدى إلى انسداد الرشاش أو الأنبوب، وعدم المرور فوق الأنابيب المطاطية مباشرة بأية الآت زراعية كذلك يجب مراعاة اتباع الخطوات الصحيحة لتشغيل أو إيقاف المضخة. فعند تشغيل المضخة يجب أن يكون صمام التحكم في التصرف خلفها مغلقا، وبعد دوران المضخة لمدة دقيقة إلى دقيقتين يفتح هذا الصمام تدريجيا. وعند إيقاف المضخة يغلق هذا الصمام أولا ببطء مع استمرار دوران المضخة، ثم توقف المضخة بعد إغلاقه تماما.

أيضا هناك احتياطات أخرى لتقليل خطورة الطرق المائي في شبكة أنابيب الري يمكن اعتبارها عند تصميم وإنشاء الشبكة والأجهزة الملحقة بها، وذلك مثل استعمال أنواع خاصة من الصمامات، أو استعمال ما يعرف بالغرفة الهوائية، أو زيادة قطر الأنبوب، أو سمك جداره.

(٤,١٢) الصمامات والمنظمات : Valves and Regulators

تستخدم الصمامات للتحكم في التصرف والضغط في الأنابيب الرئيسية والخطوط الفرعية، ويطلق عليها احيانا محابس الري. هناك أنواع مختلفة من الصمامات والمنظمات تؤدى أغراض مختلفة في شبكة الري، وتصنف حسب المبدأ الذي تعمل بموجبه، وهي تتوفر بأشكال وأحجام مختلفة وتوضع على خطوط الأنابيب في المواقع المطلوبة. وتقدر الفواقد نتيجة مرور السريان في الصمامات

والمـــنظمات حســـب المعادلات المعروفة كفواقد ثانوية أو بالرجوع إلى كتالوج الشركة المنتجة للصمام أو المنظم. ويوضح الشكل رقم (٤,٧) تصميم بعض أنواع صـــمامات التحكم في السريان. ومن أهم أنواع الصمامات والمنظمات المستخدمة في أنابيب نظم الرش:-

١ . صمام تفريغ وغسيل الخط (الشبكة) :- Flushing & Drain Valve

غالبا يدوية التشغيل وتوضع في نهاية الخطوط، والهدف من تركيبها هو غسيل الشبكة وطرد الرواسب العالقة في الخطوط.

٢ . صمام تفريغ الخط :- Drain Valve

وهى صمامات أتوماتيكية أو يدوية تفتح عندما ينخفض الضغط إلى ما يقرب من الصفر. والهدف منها هو تفريغ الخط من المياه بعد الانتهاء من الري.

٣ . صمام القدم (صمام الامتصاص) :- Foot Valve

يوضع هذا الصمام في بداية أنبوب السحب للمضخة والهدف من ذلك هو أن يبقى أنـــبوب الســـحب ممتلئا بالماء بعد توقف المضخة عن العمل مما يسهل إعادة تشغيل المضخة بدون ملء أنبوب السحب بالماء وبذلك لا يتم تهيئة المضخة قبل التشغيل.

٤ . صمام التصرف :- Discharge Valve

عبارة عن صمام يتحكم في التصرف يركب خلف المضخة، وغالبا يفتح ويقفل يدويا. وقد تكون من النوع البوابي Gate Valve أو الكهربائي Solenoid Valve

٥ . صمام عدم الرجوع :- Check Valve أو Non- return Valve

يوضـــع هذا النوع من الصمامات على أنبوب الطرد للمضخة. والهدف من ذلك لمنع رجوع (ارتداد) المياه إلى المضخة عند توقف المضخة المفاجئ.

٦ . صمام تخفيف الضغط :- Pressure relief Valve

تستخدم لتخفيض الضغط الزائد، وهى تتكون عادة من نابض يفتح الصمام تلقائـــياً عندما يزداد الضغط عن ضغط التشغيل. وبذلك يمكن تجنب الآثار الضارة الناتجة عن الضغوط العالية الفجائية.

٧ . صمام الضغط المنخفض :- Vacuum relief Valve

تركـــب على الأنابيب الرئيسية أو عند مصدر المياه تفتح تلقائيا إذا قل ضغط المياه داخل الأنبوب عن حد معين وتتخلص من الفقاعات الهوائية التي يمكن أن تتواجد في الشبكة. وبالتالي يمكن تجنب الآثار الضارة الناتجة من الضغوط السالبة. وتوضع صمامات الضغط المنخفض عند المواقع المحتمل حدوث تفريغ للضغط عندها. مثل بداية الأنابيب المنحدرة إلى أسفل ، أو المواقع المرتفعة للأنبوب.

٨ . صمام التفريع :- T / Valve

عبارة عن صمام بثلاثة شعب لتوزيع تصرف خط إلى خطين فرعيين .

- صمام إغلاق :- Line Valve

عـــبارة عن عدة صمامات موجودة على الخط الرئيسي ، الغرض منها فصل السريان عن جزء معين في الخط .

- صمام تفريغ الهواء:- Air Valve

الهدف منه التخلص من الهواء المتجمع داخل الأنبوب وهو يعمل آلياً في الغالب .

٩ . منظم الضغط Pressure regulator

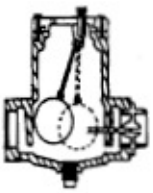
توضـــع اســـفل الرشاشات أو عند بداية خط الرشاشات . والهدف من ذلك لتحافظ على ثبات ضغط التشغيل في حدود معينة وذلك سواء كان الخط صاعداً أو هابطـــاً. أن منظمات الضغط يمكنها فقط تقليل الضغط في خط الرشاشات ولكنها لا ترفع الضغط في حالة إنخفاضه اصلاً في خط الرشاشات.

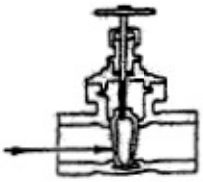
١٠. منظم التصرف Flow Regulator

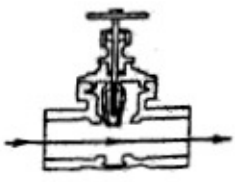
تتحكم في ضغط وكمية المياه المتدفقة إلى الرشاشات حسب التصرف المطلوب.

١١. مقياس الضغط Pressure gauge

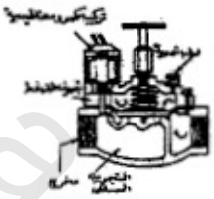
يســـتخدم لقـــياس ضـــغط المـــياه عـــند المضخة أو على الخطوط أو عند الرشاشات.

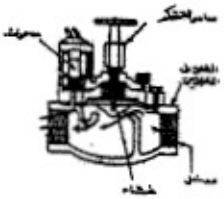

صمام عدم الرجوع


صمام بوابي مغلق

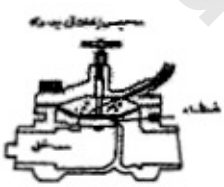

صمام بوابي مفتوح

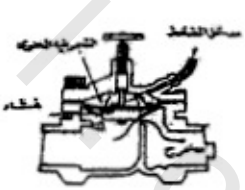
صمام التخلص من الهواء


صمام كهربائي مغلق


صمام كهربائي مفتوح

صمام إدخال الهواء


صمام مائي مغلق


صمام مائي مفتوح

الشكل رقم (٤,٧) تصميم بعض انواع صمامات التحكم في السريان.

الفواقد في الصمامات والمنظمات: Head Loss in Valves and Regulators

تحسب الفواقد في الصمامات والمنظمات بشكل منفرد لكل منها، بالنسبة للصمامات فيمكن تقدير الفواقد نتيجة سريان المياه خلالها بطريقتين هما:

obeikandl.com

١. طريقة الطول المكافئ:

في هذه الطريقة يحدد الفاقد في الصمامات بطول مكافئ لخط الأنابيب ذات القطر المتساوي معها كما يلي:

$$h_{fr} = f \cdot \frac{L_e}{d} \cdot \frac{V^2}{2g} \qquad (٤,٢٤)$$

حيث أن:

h_{fr} = الفاقد في الضاغط نتيجة وجود الصمام (متر).

f = معامل الاحتكاك لخط الأنابيب.

L_e = الطول المكافئ للفاقد في الصمام (متر).

d = القطر الداخلي للأنبوب (متر).

V = متوسط سرعة السريان في الأنبوب (متر/ث).

g = عجلة الجاذبية الأرضية (متر/ث^2).

٢. طريقة معامل الفاقد:

وهي الطريقة الأكثر استخداماً لسهولة تطبيقها، ويتم تقدير الفاقد كالتالي:

$$h_{fr} = K_r \cdot \frac{V^2}{2g} \qquad (٤,٢٥)$$

حيث أن:

K_r = معامل المقاومة للسريان في الصمام.

ويتوقف معامل المقاومة في الصمام على نوع الصمام وحالة الفتح جزئي أم تام، ويمكن الحصول علي قيمة هذا المعامل من الجداول المرفقة في الفصل العاشر.

أما بالنسبة لمنظمات الضغط التي تركب في الغالب قبل الرشاش مباشرة للتحكم في الضغط الواصل إلى الرشاش بحيث يكون الضغط اللازم للتشغيل حسب مواصفات

obeikandi.com

الشركة المنتجة. لقد تم تصميم أنواع مختلفة من منظمات الضغط ذات تصرفات تتراوح بين ٠,١- ١ لتر/ثانية وتعمل تحت ضغوط معيارية محددة مسبقا من قبل الشركات المنتجة لتلك المنظمات، وهذه الضغوط هي ٧٠، ١٠٥، ١٤٠، ١٧٠، ٢٠٥، ٢٧٥، ٣٤٥ كيلوبسكال (١٠، ١٥، ٢٠، ٢٥، ٣٠، ٤٠، ٥٠ رطل/بوصة٢) وبالتالي يتم اختيار منظم الضغط حسب ضغط تشغيل الرشاش المستخدم. وفي المعتاد تكون قيمة الضغط الداخل إلى المنظم (P_1) وقيمة الضغط الخارج من المنظم (P_2) متساوية وتقارب ضغط تشغيل الرشاش. وعندما تزيد قيمة (P_1) يبداء الضغط (P_2) في الارتفاع أيضا فيدفع بالإيطار إلى أسفل مما يؤدي إلى تقليل مقطع التدفق داخل المنظم ونقصان التصرف المتجه إلى الرشاش، وهذا بدوره يسبب انخفاض الضغط (P_2) حتى يعود إلى قيمة ضغط تشغيل الرشاش، بينما يبقى الضغط (P_1) أعلى منه. أما في حالة انخفاض الضغط (P_1) ينخفض الضغط (P_2) معه مسبباً ارتفاع الاطار وزيادة التصرف المتجه إلى الرشاش مع ارتفاع الضغط (P_2) إلى قيمة ضغط التشغيل المطلوب. ويتم التحكم في الضغط (P_2) بواسطة زنبرك مضغوط داخل الاطار، وبالتالي فإن منظم الضغط يمكنه فقط تقليل الضغط الزائد إلى الضغط المناسب لضغط تشغيل الرشاش ولكنه لا يرفع الضغط في حالة انخفاضه. ويمكن إيجاد P_2 من المعادلة التالية:

$$P_2 = P_1 - P_{cv} = P_1 - k\left(\frac{q_r}{cv}\right)^2 \qquad (٤,٢٦)$$

حيث أن:

P_2 = الضغط الخارج من منظم الضغط عند الرشاش المطلوب (كيلوبسكال).

P_1 = الضغط الداخل إلى منظم الضغط ويساوي الضغط المعياري (كيلوبسكال).

P_{cv} = الضغط المفقود خلال المنظم للتصرف q_r (كيلوبسكال).

q_r = التصرف المار خلال المنظم إلى الرشاش (لتر/ث).

k = فاقد الضغط لوحدات القياس المحددة (كيلوبسكال).

obeikandi.com

c_v = معامل التصرف الذي يساوي عـــدديا معدل التصرف عندما يكون الضغط المفقود P_{cv} يساوي ١ كيلوبسكال (لتر/ث). ومن المعلوم أن قيمة c_v لمعظم المنظمات حوالي ٠,٢٤ لتر/ث وهي متساوية لنفس النوعية من المنظمات حتى لو اختلف تصنيف الضغط المعياري.

وفي الواقع في كثير من المراجع تدرج فواقد الصمامات والمنظمات وكذلك فواقد الملحقات الأخرى تحت اسم الفواقد الثانوية أو الموضوعية ويتم تقديرها على أنها تتراوح بين ٥-١٥٪ من الفواقد الرئيسية (فاقد الاحتكاك). وتتوفر في كثير من كتب ومراجع الهيدروليكا والري جداول لقيم الفواقد الموضعية للعديد من ملحقات الأنابيب أما بشكل اطوال مكافئة لأقطار مختلفة ومواد تصنيع متنوعة، أو كمعاملات تستخدم مع المعادلة (٤,٢٦) المتقدمة، ومن المصادر التي يمكن الرجوع اليها هي أرقام (٤ ، ٥، ٩، ١١) بالمراجع في هذا الكتاب.

(٤,١٣) أمثلة محلولة:

مثال ١:

خـــط فرعي هابط إلى أسفل من الخط الرئيسي بميل ٠,٥٪ (٠,٠٠٥ م/م) وكان ضـــغط التشـــغيل للرشاش ٣١٠ كيلوبسكال، طول الخط الفرعي ٢٠٠ متر بين الرشاش الأول والأخير. المطلوب إيجاد أقصى فاقد احتكاك مسموح به.

الحـــل

$$H_{SP} = \frac{P_{SP}}{\gamma} = \frac{310}{9.81} = 31.6m$$

$$\Delta H_Z = S.L = \frac{0.5}{100} \times 200 = 1m$$

$$h_L = 20\% H_{SP} \pm \Delta H_Z$$

$$h_L = \frac{20}{100} \times 31.6 + 1 = 7.32\ m$$

$$\because h_L = 1.1\, H_f$$

$$\therefore H_f = \frac{h_L}{1.1} = \frac{7.32}{1.1} = 6.65m$$

مثال ٢:

خـــط فرعي لشبكة ري بالرش طوله ١٩٠ متر، فاذا كان فاقد الاحتكاك للخط ٠,٣٠ كجم/سم٢ لكل ١٠٠ متر طولي، والضغط في بداية الخط ٣ كجم/سم٢. أحســـب الضـــغط في نهاية الخط اذا كان الخط موضوع على ارض تميل الى أعلى بمقدار ٢٥سم/١٠٠متر.

الحـــل

$$H_L = H_e + H_f + Hs \pm \Delta H_z$$

+ للميل إلى أعلى — للميل إلى أسفل

الأنبوب يميل إلى أعلى $\Delta H_z = +25\ cm/100m$

$$H_e = H_L - H_f - Hs - \Delta H_z$$

$$= 3 \times 10 - 1.10 \times \left(\frac{0.3 \times 10}{100} \times 190 \right) - \frac{0.25}{100} \times 190$$

$$= 30 - 6.27 - 0.475 = 23.255\ m$$

$$P_e = 2.3255\ kg/cm^2$$

مثال ٣ :

خـــط رشاشات من البلاستيك، معامل هيزن ويليام له ١٤٠، وقطره ١٢٠ مم يوجد عليه ٢٠رشاش على مسافات متساوية مقدارها ١٢ متر وتصرفه ٤٠ لتر/دقيقة. ويوجد الرشـــاش الأول على مسافة ٦ متر من الخط الرئيسي. المطلوب إيجاد الفرق في الضاغط بين بداية ونهاية الخط إذا كان فرق المنسوب بين النهايتين على النحو التالي :-

obeikandi.com

أ. الأنبوب على أرض أفقية.

ب. الأنبوب صاعد (٥ متر).

ج. الأنبوب هابط (– ٥ متر).

الحـــل

$Q_{sp} = 40\ L/min = 0.67\ L/s$, $N_{sp} = 20$, $d = 120\ mm$, $C_{hw} = 140$

$L = (20 \times 12) - 6 = 234\ m$

$Q_L = Q_{sp} \cdot N_{sp} = 40 \times 20 = 800\ L/min = 13.33\ L/s$

من جدول (٤,١) لعدد رشاشات ٢٠ رشاش وأول رشاش على بعد نصف مسافة

$F = 0.36$

$$H_f = 1.22 \times 10^{10} \times 0.36 \times 234 \times \left(\frac{13.33}{140}\right)^{1.852} \times (120)^{-4.87} = 0.988m$$

الاختلاف في الضاغط بين النهايتين (Δh) مع إهمال الفواقد الثانوية كالتالي :-

أ. الأنبوب على أرض أفقية: $\Delta h = H_f + \Delta H_z = 0.988 + 0 = 0.988m$

ب. الأنبوب صاعد (٥ متر). $\Delta h = H_f + \Delta H_z = 0.988 + 5 = 5.988m$

ج. الأنبوب هابط (– ٥ متر). $\Delta h = H_f - \Delta H_z = 0.988 - 5 = -4.012m$

أي انه يوجد زيادة في الضغط في حالة c

مثال ٤:

خـــط فرعي قطره ١٠٠ مم يميل إلى أسفل بمقدار ١,٥٪ يوجد عليه ١٣ رشاش على مســـافات متســـاوية مقدارهـــا ١٢ متر، والرشاش الأول على بعد ٦ متر من الخط الرئيســـي. فإذا كان تصرف الرشاش ٣,٧ م^3/ساعة وضغط تشغيله ٢,٧ كجم/سم^2 وان معـــامل هيزن ويليام ١٤٠ . أوجد: فاقد الاحتكاك في الخط الفرعي، الفرق في الضغط بين بداية ونهاية الخط، الضغط في بداية الخط الفرعي.

الحـــل

$d = 100\ mm$ $N_{sp} = 13$ $S_s = 12\ m$ $S_L = 6\ m$ $Q_{sp} = 3.7\ m^3/hr$

$Psp = 2.7\ kg/cm^2$ $CHw = 140$ $S = 1.5\% = 0.015$ ↑

$Hf = ?$ $HL - He = ?$ $HL = ?$

من جدول (٤,١) لعدد رشاشات ١٣ رشاش وأول رشاش على بعد نصف مسافة

F = 0.366

$$Q_{sp} = 3.7\ m^3/hr = \frac{3.7 \times 1000}{3600} = 1.0278\ L/sec$$

$$L = S_1 + S_S(N_{SP} - 1) = 6 + 12(13 - 1) = 150\ m$$

$$Q_L = N_{SP} \times Q_{SP} = 13 \times 1.0278 = 13.36\ L/sec$$

فاقد الاحتكاك في الخط الفرعي:

$$H_f = 1.22 \times 10^{10} \times L \times \left(\frac{Q}{C_{HW}}\right)^{1.852} \times d^{-4.87} \times F$$

$$H_f = 1.22 \times 10^{10} \times 150 \times \left(\frac{13.36}{140}\right)^{1.852} \times 100^{-4.87} \times 0.366 = 1.56\ m$$

الفرق في الضغط بين بداية ونهاية الخط:

$$H_L - H_e = 1.1 H_f \pm \Delta H_z$$

$$H_L - H_e = 1.1 \times 1.56 + 0.015 \times 150 = 1.72 + 2.25 = 3.97\ m$$

الضغط في بداية الخط الفرعي:

$$H_L = H_{sp} + 0.75 H_f + H_r + 0.5 \Delta H_z$$

وعلى فرض أن ارتفاع حامل الرشاش ١,٥ متر $(Hr = 1.5\ m)$:

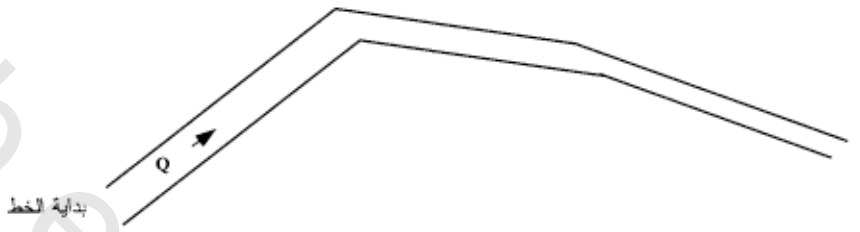
$$H_L = 2.7 \times 10 + 0.75 \times 1.56 + 1.5 + 0.50 \times 0.015 \times 150$$

$$= 27 + 1.17 + 1.5 + 1.123 = 30.79\ m$$

مثال ٥:

أوجـــد الضغط عند بداية الخط الفرعي الموضح بالشكل ، اذا علمت ان تصرف الرشـــاش ١٠ لـــتر/دقيقة والضغط عند نهاية الخط ٣ كجم/سم٢ ومعامل هيزن ويليامز ١٤٥، استخدم قيمة معامل الفتحات حسابياً.

obeikandl.com



(S) :	٢ ٪	١ ٪	٤ ٪
(Nsp):	٦	٥	٨
(L) :	٧٢ م	٦٠ م	٩٦ م
(d) :	٢٥ مم	٣٧ مم	٥٠ مم

الحـــل

$$Qs_3 = Ns \times Q_{sp} = 6 \times \frac{10}{60} = 1\ Lit/sec$$

$$Qs_2 = Ns \times Q_{sp} = 11 \times \frac{10}{60} = 1.833\ Lit/sec$$

$$Qs_1 = Ns \times Q_{sp} = 19 \times \frac{10}{60} = 3.17\ Lit/sec$$

$$F_3 = \frac{1}{m+1} + \frac{1}{2N_3} + \frac{\sqrt{m-1}}{6\,N_3^{\,2}} = \frac{1}{1.852+1} + \frac{1}{2\times 6} + \frac{\sqrt{1.852-1}}{6\times 6^2} = 0.438$$

$$F_2 = \frac{1}{m+1} + \frac{1}{2N_2} + \frac{\sqrt{m-1}}{6\,N_2^{\,2}} = \frac{1}{1.852+1} + \frac{1}{2\times 5} + \frac{\sqrt{1.852-1}}{6\times 5^2} = 0.457$$

$$F_1 = \frac{1}{m+1} + \frac{1}{2N_1} + \frac{\sqrt{m-1}}{6\,N_1^{\,2}} = \frac{1}{1.852+1} + \frac{1}{2\times 8} + \frac{\sqrt{1.852-1}}{6\times 8^2} = 0.4155$$

obeikandl.com

$$H_{f3} = 1.22 \times 10^{10} \times L_3 \times \left(\frac{Qs_3}{CHW} \right)^{1.852} \times d_3^{-4.87} \times F_3$$

$$H_{f3} = 1.22 \times 10^{10} \times 72 \times \left(\frac{1}{145} \right)^{1.852} \times 25^{-4.87} \times 0.438 = 5.95m$$

$$H_{f2} = 1.22 \times 10^{10} \times L_2 \times \left(\frac{Qs_2}{CHW} \right)^{1.852} \times d_2^{-4.87} \times F_2$$

$$H_{f2} = 1.22 \times 10^{10} \times 60 \times \left(\frac{1.833}{145} \right)^{1.852} \times 37^{-4.87} \times 0.457 = 2.354m$$

$$H_{f1} = 1.22 \times 10^{10} \times L_1 \times \left(\frac{Qs_1}{CHW} \right)^{1.852} \times d_1^{-4.87} \times F_1$$

$$H_{f1} = 1.22 \times 10^{10} \times 96 \times \left(\frac{3.17}{145} \right)^{1.852} \times 50^{-4.87} \times 0.4155 = 2.174m$$

$$Hf_{total} = H_{f1} + H_{f2} + H_{f3}$$

$$Hf_{total} = 2.174 + 2.354 + 5.95 = 10.48m$$

$$(H)_{LS1} = 0.10 Hf_{total} = 0.10 \times 10.48 = 1.048m$$

$$HL = Hf_{total} + H_{Ls} \pm \sum \Delta Hz + He$$

$$HL = 10.48 + 1.048 + \frac{4}{100} \times 96 - \frac{1}{100} \times 60 - \frac{2}{100} \times 72 + (3 \times 10) = 43.33m$$

$$PL = 4.333\ kg/cm^2$$

obeikandi.com