



الفصل التاسع

التصميم الهيدروليكي لشبكات توزيع مياه الشرب

يتناول هذا الفصل التصميم الهيدروليكي لشبكات التوزيع. ويشمل ما يلى:

مقدمة

- ١- اعتبارات التصميم الهيدروليكي.
- ٢- المعادلات الهيدروليكية التي تربط بين المتغيرات الرئيسية.
- ٣- خطوات التصميم الهيدروليكي.
- ٤- حساب الضغوط في أجزاء الشبكة.
- ٥- التصميم باستخدام الحاسوب الآلى.
- ٦- القطر الاقتصادي للمواسير.

نستعرض فيما يلى اعتبارات التصميم الهيدروليكي الأساسية، وتشمل:

اعتبارات التصميم**الهيدروليكي**

- ١- التصرف التصميمي
- ٢- الضغوط التصميمية.
- ٣- السرعات التصميمية.

من البدئي نتائج لاختلاف معدل استهلاك المياه في أي تجمع سكني، من شهر لآخر، ومن يوم لآخر، بل خلال ساعات اليوم الواحد؛ أن يتم تصميم مشروعات المياه بحيث يمكن لمرافق المياه مواجهة الاحتياجات المائية المختلفة للسكان. وكل نوع من أنواع تخطيط شبكات توزيع المياه الفنية (وهي الأنواع السابقة عرضها في الفصل الثاني من هذا الكتاب). وتناول فيما يلى التصرف التصميمي لكل من حالة التخطيط الشبكي وحالة التخطيط الشجري والدائرى لشبكة التوزيع.

١. التصرف**التصميمي**

أولاً: التصرف التصميمي في حالة التخطيط الشبكي:

- تصمم خطوط المواسير الرئيسية (الناقلة للمياه من محطة الضخ - أو التنقية - حتى بداية الشبكة داخل المدينة أو القرية) على أساس أقصى تصرف يومي مضافاً إليه تصرف الحريق. وذلك على أساس أن معدل الضخ ثابت على مدار اليوم. أما إذا كان الضخ لفترة محدودة (٦٦ ساعة مثلاً)، فيتم تعديل التصرف التصميمي وفقاً لظروف التشغيل، وذلك باستخدام الخزانات العالية لتلبية التغير في احتياجات المياه خلال ساعات اليوم، وخلال ساعات التوقف عن الضخ (غالباً ساعات الليل).

- تصمم خطوط المواسير الثانوية (الموجودة داخل التجمع السكني) على أساس أقصى استهلاك في الساعة، أو معدل الاستهلاك اليومي مضافاً إليه تصرف الحريق، أيهما أكبر.

- تصمم خطوط التوزيع الفرعية على أساس التصرف المطلوب لإطفاء الحرائق، وهو تصرف يختلف باختلاف عدد السكان. ويوضح الجدول رقم (١-٩) احتياجات الحريق في مصر بالنسبة لعدد السكان.

جدول رقم (١-٩)

معدلات التصرف المطلوبة لإطفاء الحرائق (طبقاً للمواصفات المصرية)

التصرف المطلوب لإطفاء الحريق (لتر/ث)	عدد السكان (نسمة)	m
٣٠-٢٠	٥٠٠٠ حتى	١
٣٥-٢٥	١٠٠٠٠ - ٥٠٠٠	٢
٤٠-٣٠	٢٠٠٠٠ - ١٠٠٠٠	٣
٤٥-٣٥	٣٠٠٠٠ - ٢٠٠٠٠	٤
٥٠-٤٠	٥٠٠٠٠ - ٣٠٠٠٠	٥
٧٥-٤٥	١٠٠٠٠٠ - ٥٠٠٠٠	٦
١٠٠-٥٠	٢٠٠٠٠٠ أكثر من	٧

ثانياً: التصرف التصميمي في حالة التخطيط الشجري والدائرى:

يتم تصميم الشبكات على أساس متوسط الاستهلاك اليومى مضروباً فى معامل الذروة. ويتوقف هذا المعامل على عدد السكان وصفات المنطقة المراد تغذيتها سواء كانت حضرية (مدناً) أم ريفية، كما هو مبين في الجدول رقم .(٢-٩)

جدول رقم (٢-٩)
قيم معامل الذروة

المستخدم في حساب التصرف التصميمي في حالة التخطيط الشجري والدائرى

ريف (قرية واحدة أو مجموعة قرى)	حضر	عدد السكان (نسمة)	m
٢,٠	٢,٢٥	٥٠ ٠٠٠ حتى	١
١,٨٠	٢	١٠٠ ٠٠٠ - ٥٠ ٠٠٠	٢
١,٦٠	١,٨٠	٥٠٠ ٠٠٠ - ١٠٠ ٠٠٠	٣
-	١,٤٠-١,٦٠	١ ٠٠٠ ٠٠٠ - ٥٠٠ ٠٠٠	٤
-	١,٢٠-١,٤٠	١ ٠٠٠ ٠٠٠ فأكثر	٥

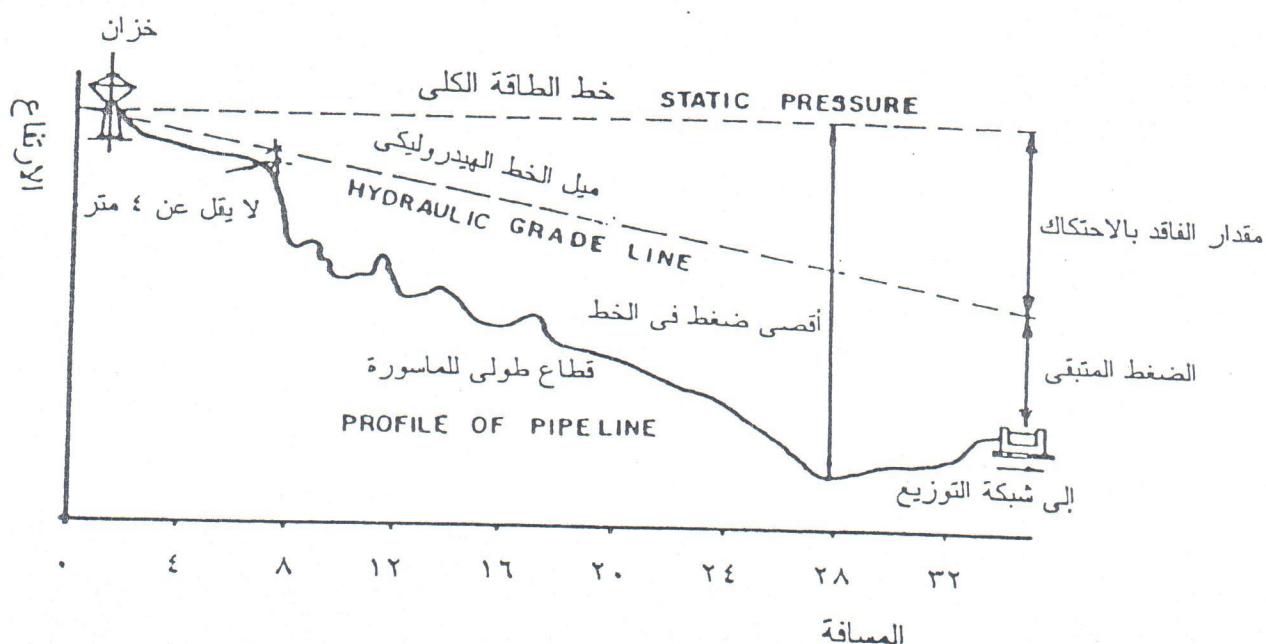
تبعد خطوط مواسير المياه عند إنشائها عادة طبيعة سطح الأرض، حيث يتم إنشاؤها قريبة منه، وعلى عمق يتراوح بين ١,٠ و ٣,٠ متر طبقاً لقطر الماسورة. ومع استمرار خط المواسير في السير بعيداً عن محطة طلمبات الضغط العالى أو محطة التقية أو الخزان العالى، يقل الضغط في الخط. لذا يجب توقع (رسم) خط الميل الهيدروليكي، والذي يبين منحنى المياه في خط المواسير تحت ظروف التشغيل المختلفة، فوق القطاع الطولى لخط المواسير وعلى مدى طوله، للتمكن من معرفة الضغوط عند النقط المختلفة في الشبكة.

ونتناول فيما يلى الضغوط التصميمية لكل من الخطوط الناقلة (الحاملة للمياه)، وشبكات التوزيع.

٢. الضغوط التصميمية

أ- الضغط التصميمية للخطوط الناقلة:

في بعض الحالات التي تكون فيها محطة التغذية أو الخزان على منسوب عالٍ بالنسبة للمدينة، بحيث يسير الماء في الماسورة الرئيسية دون حاجة إلى محطة ضخ (كما في الشكل رقم ١-٩)، يجب ألا يقل ضغط التشغيل (أو الضغط المتبقى) في أي نقطة على الخط عن أربعة أمتار.



شكل رقم (١-٩) الضغط التصميمى لخط المواسير

بـ- الضغوط التصميمية لشبكات التوزيع:

نتيجة للاعتبارات الاقتصادية لأطوال شبكات الإمداد بالمياه يتم اختيار الضغوط التصميمية لشبكات التوزيع على النحو التالي:

في المدن والتجمعات السكنية التي يتراوح متوسط ارتفاع مبانيها بين ثلاثة وأربعة أدوار (حوالى 15 متراً)، لا يقل الضغط المتبقى في الشبكة عادة عن 25 متراً فوق أعلى وأبعد منسوب للأرض في ساعات الاستهلاك الأقصى، على أن يصل الماء إلى الأدوار العلوية تحت ضغط قدره خمسة أمتار.

- في التجمعات السكنية التي تتكون معظم مبانيها من دور واحد أو دورين، عادة لا يقل الضغط المتبقى في الشبكات عند أقصى معدلات استهلاك فوق أعلى منسوب لسطح الأرض عن ١٥ متراً، أو ما يحقق، على الأقل، الضغط المناسب لتشغيل حنفيات الحريق.

- في المناطق التجارية والصناعية، يفضل ألا يقل الضغط عن ٤٠-٣٠ متراً.

و عموماً لا يفضل استخدام ضغوط مرتفعة تزيد عن الحاجة الضرورية للشبكة، حيث أن ذلك قد يؤدي إلى المزيد من التسرب في الشبكة، وإلى استخدام مواسير غالية الثمن لتحمل هذا الضغط. لذلك يجب مراعاة أن تفني الضغوط بالمطلوب فقط.

يتم اختيار سرعات سريان الماء في المواسير تبعاً لظروف التصميم. وتتراوح قيمة السرعات عند التصرفات التصميمية من ٠,٨ م/ث إلى ١,٥ م/ث. و تؤخذ في المتوسط في حدود ١,٠٠ م/ث.

يلزم لاستكمال أعمال التصميم الهيدروليكي لشبكات توزيع مياه الشرب، دراسة العلاقات التي تربط بين التصرف، والسرعة، وقطر الماسورة (أو مساحة القطاع الحامل للمياه)، ومعدل الفاقد في الضغط نتيجة سريان الماء. وتوجد عدة معادلات هيدروليكيّة تربط بين تلك المتغيرات المختلفة، من أهمها ما يلي:

- ١- معادلة التصرف.
- ٢- معادلات حساب الفاقد الرئيسيّة

تحدد معادلة التصرف التالية العلاقة بين كل من سرعة سريان المياه ومساحة مقطع الماسورة، وبين التصرف المطلوب نقله:

(١-٩)

$$Q = A \times V$$

٣. السرعات

التصميمية

المعادلات
الهيدروليكيّة
التي تربط بين
المتغيرات
الرئيسية

٤. معادلة التصرف

حيث:

$$\begin{aligned}
 (م^3/\text{ث}) & \quad \text{التصريف التصميمي المطلوب نقله} & = & Q \\
 (م/\text{ث}) & \quad \text{سرعة سريان المياه التصميمية} & = & V \\
 \frac{\sum D^2}{4} & \quad \text{المساحة المائية لقطع الماسورة} & = & A \\
 (م^2) & \quad \text{أى عندما تكون الماسورة مملوئة بالمياه} \\
 (م) & \quad \text{القطر الداخلى للماسورة} & = & D
 \end{aligned}$$

وبتحديد التصريف التصميمي والسرعة التصميمية من الاعتبارات السابقة ذكرها يمكن باستخدام هذه المعادلة حساب مساحة قطع الماسورة واستنتاج قطرها. وبالرجوع إلى بيانات الشركات المنتجة للمواسير، يتم اختيار أقرب أكبر قطر ليكون هو القطر المبدئي للماسورة.

من أكثر هذه المعادلات الهيدروليكية شيوعا في تصميم مواسير المياه معادلة هازن - وليامز (Hazen - Williams) وكذلك معادلة كولبروك ووايت (Colbrook & White). وتنص معادلة هازن - وليامز على الآتى:

$$V = 0.849 C R^{0.63} S^{0.54}$$

And

(٢-٩)

$$Q = AV = 0.849 C A R^{0.63} S^{0.54}$$

حيث:

$$\begin{aligned}
 \text{السرعة } & \quad \text{م/ث} & = & V \\
 \text{التصريف } & \quad \text{م}^3/\text{ث} & = & Q \\
 \text{معامل الاحتكاك } & \quad \text{(لهازن - وليامز)} & = & C \\
 \text{والمواد المبطنة لها، كما هو موضح بالجدول رقم } & \quad (٣-٩).
 \end{aligned}$$

$$\frac{D}{4} = \text{المعامل الهيدروليكي} = R$$

٢. معادلات حساب الفوائد الرئيسية

جدول رقم (٣-٩)
قيم معامل الاحتكاك في معادلة هازن - ولیامز

معامل الاحتكاك (C)	نوع الماسورة	m
١٤٠	أسيستوس أسمنتى	١
١٤٠ - ١٣٠	نحاس أصفر أو أحمر *	٢
١٠٠	(ماسورة من الطوب) *	٣
١٣٠	حديد زهر:	٤
١٢٠ - ٤٠	أ - حديد وغير مبطن	
١٥٠ - ١٣٠	ب - قديم وغير مبطن	
١٥٠ - ١٤٠	ج - مبطن بالأسمنت	
١٣٥ - ١١٥	د - مبطن بالبيتومين هـ - مطلى بالقار	
١٤٠	خرسانة أو مبطنة بالخرسانة:	٥
١٢٠	أ - شدات معدنية	
١٣٥	ب - شدات خشبية ج - مصنوعة بطريقة الطرد المركزي	
١٣٥	خرطموم حريق (مبطن بالمطاط) *	٦
١٢٠	حديد مجلفن	٧
١٤٠	ألياف زجاجية مقواة بالبلاستيك	٨
١٤٠ - ١٣٠	رصاص (استخدم هذا النوع في الماضي للوصلات المنزلية)	٩
١٥٠ - ١٤٠	بلاستيك	١٠
١٥٠ - ١٤٠	ص - لب:	١١
١١٠	أ - حديد وغير مبطن ب - مبرشم	
١٣٠	قصدير *	١٢
١٤٠ - ١٠٠	فخار مزوج *	١٣

المصدر: Practical Hydraulics, by Andrew L.Simon, 1976

• لا تستخدم هذه المواسير في شبكات توزيع مياه الشرب.

$$\frac{\sum D^2}{4} = A \quad \text{المساحة (م}^2\text{)} = A$$

$$D = \text{قطر الماسورة (م)}$$

$$S = \frac{h_f}{L} \quad \text{معدل الفاقد ويعبر عن ميل الخط الهيدروليكي}$$

$$h_f = \text{الفاقد الرئيسي في الضغط (م)}$$

$$L = \text{طول الماسورة (م)}$$

هذا وقد قام (هازن - ولیامز) بترجمة هذه المعادلة الى منحنیات يسهل استعمالها (مبينة بالملحق). وبمعلومات نوع المواسير، وطولها، وتصرف الماء بها، يمكن بواسطة المنحنیات تعیین القطر، والسرعة، وفاقد الضغط بين طرفی الماسورة.

أما معادلة كولبروك ووایت فهى موضحة بملحق هذا الكتاب. ونظرًا لصعوبة حلها حسابياً تم الاستعانة بجداول التصميم الهيدروليكي (المعروضة أيضاً في نفس الملحق) لمعرفة قيم المتغيرات المطلوبة.

كذلك يمكن استنتاج معادلة الفاقد الرئيسي في الضغط (h_f) من معادلة هازن - ولیامز كالتالي (ون ذلك بالتعويض عن قيمة كل من (S, R, A) :

$$h_f = \frac{10.7 L}{C^{1.852} D^{4.87}} Q^{1.852}$$

ويمكن تبسيط هذه المعادلة إلى:

(٣-٩)

$$h_f = K Q^n$$

حيث:

$$K = \frac{10.7 L}{C^{1.852} D^{4.87}}$$

$$n = 1.852$$

خطوات التصميم

الهيدروليكي

٩-٩

يتم تصميم شبكة التوزيع على اعتبار أنها ستخدم لفترة زمنية تتراوح بين ٤٠ و ٥٠ سنة، وهى تقارب العمر الافتراضى للمواشير. ويمكن اتباع الخطوات التالية عند إعداد التصميم الهيدروليكي لشبكات التوزيع:

- ١ - تحديد التصرف التصميمى للراسورة، والسرعة التصميمية للمياه المارة فيها، والضغط التصميمى طبقاً لاعتبارات التصميم المذكورة فى بداية هذا الفصل.
- ٢ - حساب القطر المبدئى للراسورة باستخدام معادلة التصرف، وبمعلومات كل من التصرف التصميمى والسرعة التصميمية.
- ٣ - إعداد خريطة للمنطقة، موقعاً عليها أطوال وأقطار المواشير الحالية والأقطار المبدئية للمواشير المستقبلية. وتوقع على الخريطة أيضاً أماكن جميع المحابس وحنفيات الحريق وباقى ملحقات الشبكة.
- ٤ - حساب الاحتياجات المختلفة المطلوبة، شاملة احتياجات مكافحة الحرائق عند النقط المهمة فى شبكة التوزيع.
- ٥ - حساب الفاقد الرئيسي فى الضغط فى الخطوط، بالاستعانة بمعادلات ومنحنيات حساب الفاقد الرئيسي (هازن – ولیامز).
- ٦ - حساب الضغوط فى الأجزاء المختلفة للشبكة، وذلك بمعلومات الفاقد الرئيسي فى الضغط فى كل خط.
- وهناك عدة طرق لحساب الضغوط فى مختلف مناطق الشبكة، منها طريقة المواشير المكافئة، وطريقة القطاعات، وطريقة هاردى كروس، وطريقة الدائرة. وسنتناول بالشرح فى الجزء التالى هذه الطرق الأربع الرئيسية لحساب الضغوط.
- ٧ - تعديل الأقطار المبدئية للمواشير للوصول إلى الضغوط التصميمية المطلوبة لها.

- حساب الفوائد الثانوية في القطع الخاصة والوصلات والمحابس ومخالف أجزاء الشبكة من المعادلة الآتية في صورتها العامة:

(٤-٩)

$$h = K_L V^2 / 2g$$

حيث:

h = مقدار الفاقد الثانوي في الضغط (م)

V = سرعة السريان (م/ث)

g = عجلة الجاذبية الأرضية (٩,٨١ م/ث٢)

K_L = معامل يتوقف على نوع الوصلة أو القطعة (انظر الملحق الأول)

يجب أن تتوافق نتائج التصميم الهيدروليكي مع الشروط الفنية الآتية:

١- أقل قطر يمكن استخدامه في شبكات التوزيع هو ١٠٠ مم ويفضل

١٥٠ مم حتى يتحقق أقل متطلبات لتركيب حنفيات مكافحة الحرائق.

٢- لا يسمح بتوصيل الوصلات المنزلية مباشرة على الخطوط ذات الأقطار الأكبر من ٣٠٠ مم.

٣- المسافة بين الخطوط الرئيسية تكون في حدود ١٠٠٠ متر.

٤- المسافة بين الخطوط الشبه رئيسية (الثانوية) تكون في حدود ٥٠٠ متر.

٥- الخطوط الفرعية لا يزيد طولها عن ٣٠٠ - ٤٠٠ متر.

الشروط الفنية
لشبكات التوزيع

تناول فيما يلى الطرق الأربع المشار إليها لحساب الضغوط في أجزاء

الشبكة المختلفة، وهي:

حساب الضغوط

فى أجزاء

الشبكة

١- طريقة المواسير المكافئة.

٢- طريقة القطاعات.

٣- طريقة هاردى كروس.

٤- طريقة الدائرة.

١. طريقة المواسير

المكافأة

يقال أن الماسورتين متكافئتان إذا كان يمر في كل منهما نفس التصرف بنفس الفاقد في عمود الضغط. ويقال أن الماسورة متكافئة مع مجموعة من المواسير، إذا كانت الماسورة تحمل تصرفاً مساوياً لتصرف المجموعة بنفس الفاقد في عمود الضغط.

وتستعمل هذه الطريقة في حالة تحويل الشبكات الرئيسية إلى شبكات بسيطة يمكن حلها بسهولة، أو في حالة طلب مد خطوط رئيسية لمناطق جديدة، أو زيادة الاستهلاك وإضافة خطوط جديدة؛ وذلك باستبدال ماسورة أو مجموعة من المواسير المتصلة على التوازي أو التوالى بمسورة واحدة. علماً بأن هذه الماسورة المكافأة تخيلية، بمعنى أن طولها أو قطرها غير واقعى. ونعرض فيما يلى أسس حساب قطر وطول الماسورة المكافأة في كل من حالتي المواسير المتصلة على التوالى والمواسير المتصلة على التوازي.

أولاً: المواسير المتصلة على التوالى:

يكون التصرف المفترض، المار بمجموعة المواسير المتصلة على التوالى، مساوياً للتصريف المار في كل منها، مع الأخذ في الاعتبار أن الفوائد في الضغوط تجمع مع بعضها لتساوي الفاقد الكلى فيها، والذى بمعلوماته ومعلومية التصرف المار يمكن فرض القطر المكافأة. ومن المنحنيات يمكن إيجاد السرعة ومعدل الفقد، وبالتالي إيجاد طول الماسورة المكافأة كما هو مبين بالشكل (٩-٢)، وذلك على أساس أن:

$$(٥-٩) \quad Q = Q_1 = Q_2 = Q_3 = \dots$$

$$(٦-٩) \quad H = H_1 + H_2 + H_3 + \dots$$

حيث:

$$\text{معدل التصرف} \quad (m^3/s) = Q$$

$$\text{مقدار الفقد في الضغط} \quad (m) = H$$

ثانياً: المواسير المتصلة على التوازى:

في هذه الحالة، يكون الفاقد في الضغط متساويا بينما التصرف الكلى يساوى مجموع التصرفات المارة في كل خط على حدة، كما هو مبين بالشكل (٩-٢-ب). ويتم الحساب على أساس المعادلات الآتية:

$$(٧-٩) \quad Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots$$

$$(٨-٩) \quad H = H_1 = H_2 = H_3 = \dots$$

تستخدم طريقة القطاعات (Method of Sections) للتصميم المبدئي لشبكة مياه مدينة، في الأحوال التالية:

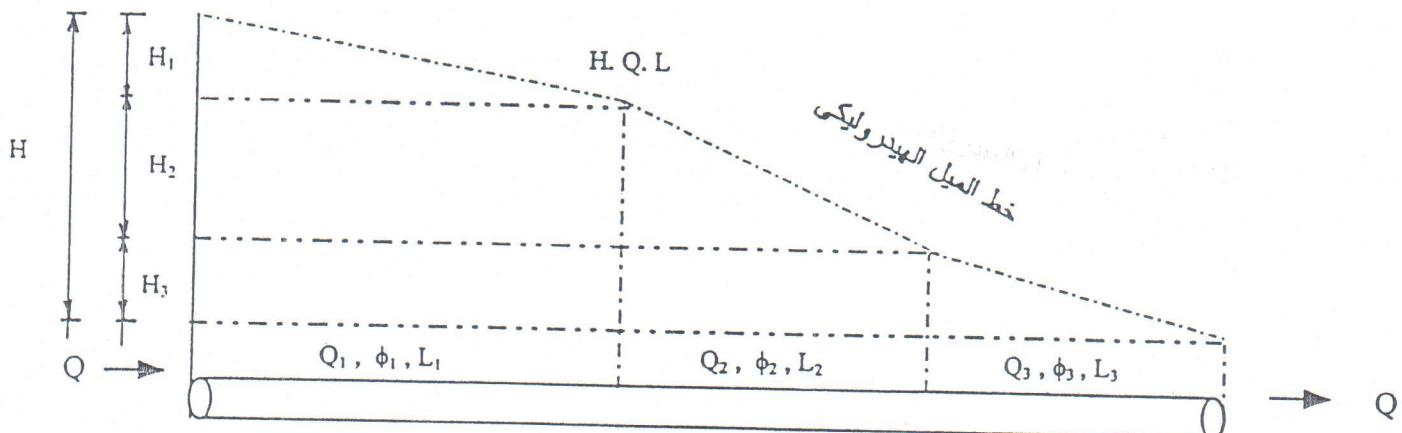
- ١ المدينة موجودة وحدث تغير في عدد السكان، ويراد معرفة كفاءة الشبكة لتعذية عدد السكان المطلوب خدمتهم بمياه الشرب.
- ٢ المدينة موجودة وحدث توسيع (امتداد) عمرانى خارج المدينة، وامتدت الشبكة لهذا الجزء من التوسيع.
- ٣ المدينة لم تنشأ بعد، ويراد تصميم شبكتها.

وقد اخترع هذه الطريقة العالم هازن ووضع شروطا لتطبيقها وهى "أن معدل الفاقد في الضغط يتراوح من ٣-١ %، وهو ما يوازي سرعة من ٦٠-١٥٠ سم/ثانية، وأن يكون القطاع عمودياً على اتجاه سريان المياه للخطوط الناقلة للمياه من محطة الضخ إلى شبكة التوزيع". ونعرض فيما يلى خطوات هذه الطريقة لكل من الحالتين الأولى والثانوية المشار إليها أعلاه.

أولاً: في حالة حدوث تغير في عدد السكان:

في هذه الحالة، تكون الشبكة قائمة وأقطارها معروفة فتبعد خطوات التصميم الهيدروليكي الخامس الأولى، ثم يكون الحساب كالتالى:

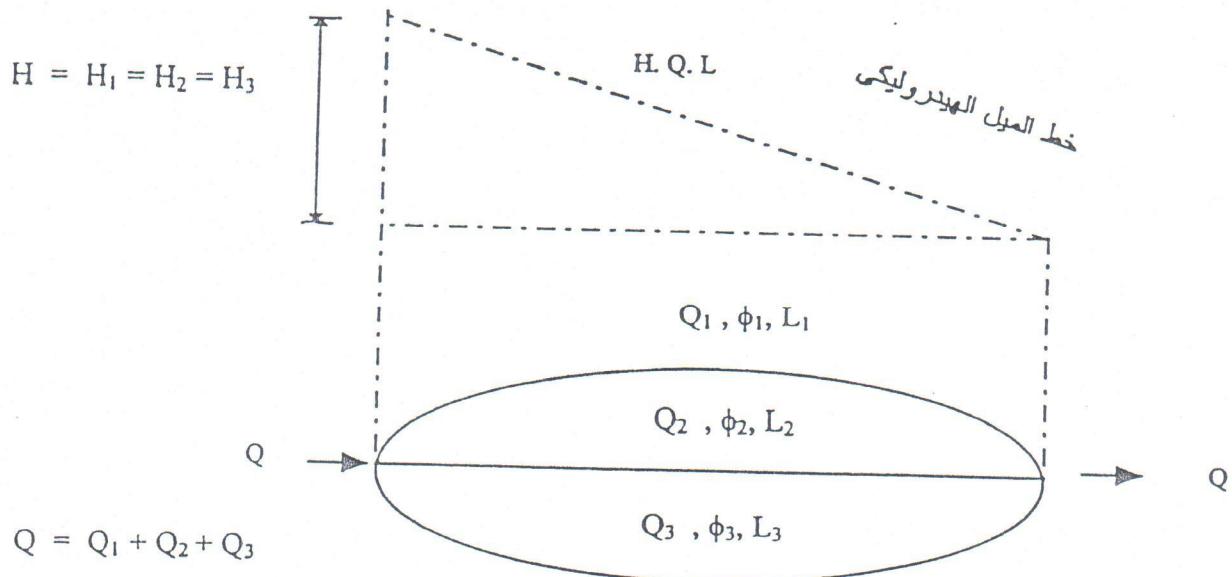
- ١ الماسورة معروفة قطرها ويفترض لها الميل الأقصى (٣٪) ومن المنحنى يمكن معرفة التصرف المار بها.



$$Q = Q_1 = Q_2 = Q_3$$

$$H = H_1 + H_2 + H_3$$

(أ) حالة المواسير المتصلة على التوالي



(ب) حالة المواسير المتصلة على التوازي

شكل رقم (٢-٩)

طريقة المواسير المكافئة

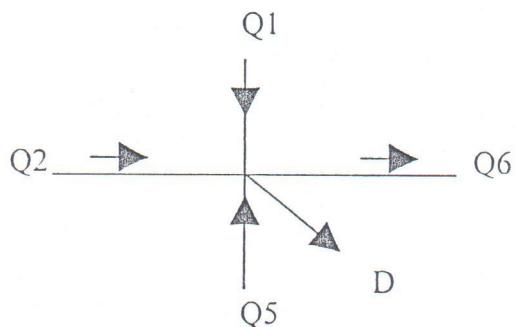
-٢ تجمع التصرفات التي تحملها المواسير المقطوعة، ثم تقارن مع التصرفات المطلوبة، فإذا تساوت كانت الشبكة الموجودة كافية. أما إذا كانت التصرفات المطلوبة أكبر فلا بد من تعويض النقص، وذلك إما بوضع ماسورة أخرى جديدة تحمل التصرف المكمل (توضع في أحد الشوارع التي يظن أنها في حاجة إلى المياه)، أو باستبدال ماسورة قديمة بأخرى جديدة أكبر منها لتعويض النقص في التصرفات.

ثانياً: في حالة امتداد العمران خارج المدينة:

تبني نفس الخطوات السابقة، بالإضافة إلىأخذ قطاعإضافي على مناطق التوسيع لتحديد أقطارها، مع الأخذ في الاعتبار أن أصغر قطر يلتف حول أي توسيع جديد لا يقل عن ٢٠٠ مم، حتى لو كان التصرف اللازم لهذا التوسيع يحتاج إلى ماسورة أقل من ذلك.

المعادلات التي تحكم التصرفات داخل الشبكة:

١- مجموع التصرفات الداخلة إلى نقطة الاتصال تساوى مجموع التصرفات الخارجة من نقطة الاتصال.



$$\sum Q_{\text{in}} - \sum Q_{\text{out}} = \text{Zero}$$

$$(9-9) \quad Q_2 + Q_1 + Q_5 - (Q_6 + D) = 0$$

$$(10-9) \quad Q_1 + Q_2 + Q_5 - Q_6 = D$$

-٢ لكل دائرة مجموع فوائد الضغط في اتجاه معين يساوى صفر

$$\sum h_f = \sum K Q^n = \text{Zero}$$

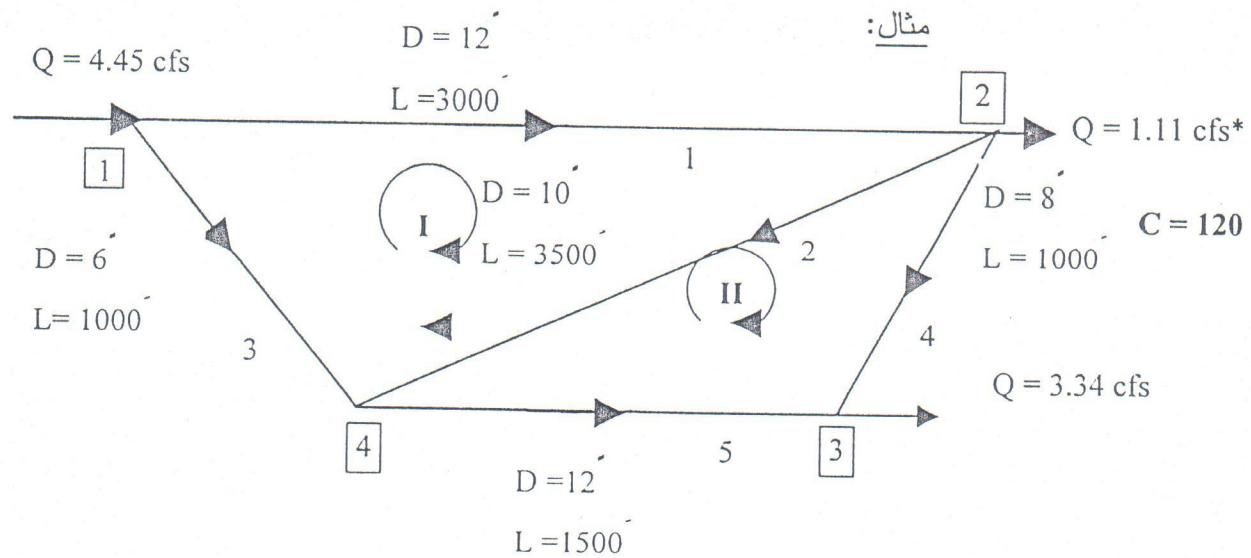
تتكون شبكة المواسير من عدد J من الوصلات و L من الدوائر غير المتدخلة و N من المواسير، تربطهم المعادلة التالية:

$$(11-9) \quad N = (J - 1) + L$$

ولأن كمية التصرف لكل ماسورة غير معلومة فيكون عدد المجاهيل مساوياً لعدد المواسير. ولحل هذه الشبكة تحتاج إلى عدد N من المعادلات أو $(L+J-1)$ من المعادلات.

المعادلات $(J-1)$ تعتبر معادلات خطية، أما المعادلات (L) فتعتبر غير خطية.

ولأن أي شبكة تحتوى على مئات من المواسير لذلك يلزم استخدام الكمبيوتر في حل هذه الشبكات بطرق سهلة. ويعرض الشكل رقم (٣-٩) مثالاً مبسطاً لذلك.



شكل رقم (٣-٩)

مثال لشبكة مواسير تحتوى على أكثر من دائرة مغلقة

حيث: K من معادلة (٣-٩)

$$P = \text{Pipe} \quad K_1 = 2.018$$

$$D = \text{Diameter} \quad K_2 = 5.722$$

$$l = \text{Length} \quad K_3 = 19.674$$

$$\square = \text{Node No*} \quad K_4 = 4.847$$

$$\bigcirc = \text{Pipe No.} \quad K_5 = 1.009$$

في هذا المثال

$$\text{عدد الوصلات } J = 4$$

$$\text{عدد الدوائر } L = 2$$

$$\therefore \text{عدد المعادلات المطلوبة } J-1+L = 5$$

معادلات التصرفات في نقاط التلاقي J :

$$Q_1 + Q_3 = 4.45 \quad (1)$$

$$-Q_1 + Q_2 + Q_4 = -1.11 \quad (2)$$

$$-Q_4 - Q_5 = -3.34 \quad (3)$$

معادلات الفوائد في الدوائر L :

ومن معادلة (٣-٩). وفي اتجاه عقارب الساعة

$$2.018 Q_1^{1.85} + 5.722 Q_2^{1.85} - 19.764 Q_3^{1.85} = 0 \quad (4)$$

$$4.847 Q_4^{1.85} - 1.009 Q_5^{1.85} - 5.722 Q_2^{1.85} = 0 \quad (5)$$

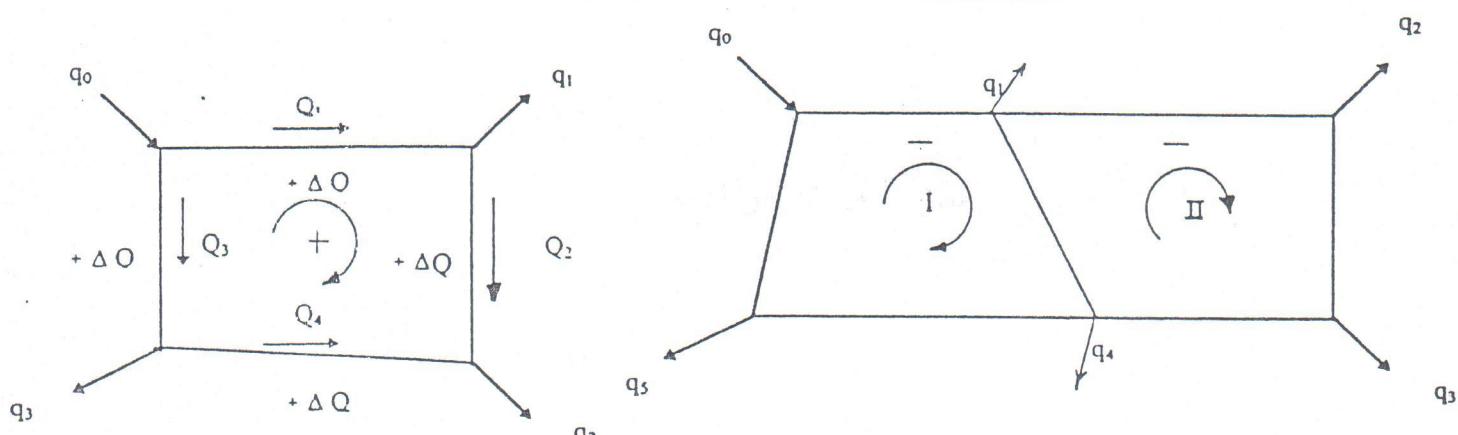
اخترع هذه الطريقة العالم هاردي كروس (Hardy Cross) عام ١٩٣٦.

وهي تعتمد على المحاولة والخطأ، وستعمل في تحديد التصرفات المارة بالمواسير وتعيين الضغوط في الشبكة عند أى نقطة فيها. (انظر

شكل رقم ٤-٩).

٣. طريقة هاردي

كروس



قطع (أ-أ)

شكل رقم (٤-٩)

طريقة هاردي كروس

وفي هذه الطريقة، تتبع الخطوات التالية:

- ١- تُنقسم الشبكة الرئيسية فقط إلى مجموعات على هيئه دوائر مغلقة.
- ٢- تُدرس كل دائرة على حدة، مع الأخذ في الاعتبار وجود مواسير مشتركة في الدوائر الأخرى.
- ٣- يفترض التصرف المار في المواسير في الدائرة الواحدة واتجاهه، بحيث تساوى كمية المياه الداخلة كمية المياه الخارجة عند كل نقطة اتصال.
- ٤- يُحسب الفاقد في الضغط في كل خط نتيجة مرور التصرف المفروض.
- ٥- يُحسب مجموع الفوائد كلها ($\sum h_f$) في الدائرة الواحدة معأخذ الاتجاهات في الاعتبار.
- ٦- تُحسب القيمة $nKQ^n / Q = . n \sum (h_f / Q)$
- ٧- يُحسب التصحيح المطلوب للتصرف المفروض $q \Delta$ ، باستخدام القوانين الرياضية. وبعد حل جميع الدوائر تؤخذ التصحيحات كلها من جميع الدوائر.

(١٢-٩)

$$\Delta q = \frac{-\sum h_f}{n \sum (h_f / Q)} = \frac{\sum KQ^n}{n KQ^n / Q}$$

وهو خارج قسمة الناتج من الخطوة الخامسة على الناتج من الخطوة السادسة.

-٨ يعاد الحساب بعد هذا التصحيح عدة مرات، حتى يصبح الفرق ضئيلاً يمكن التغاضي عنه.

ولازمان مجموعة من خطوط المياه المقلدة في شبكة توزيع المياه، يمكن تحديد التصرف الفعلى فيها بإضافة قيمة تصحيحية Δq إلى التصرف الافتراضي Q .

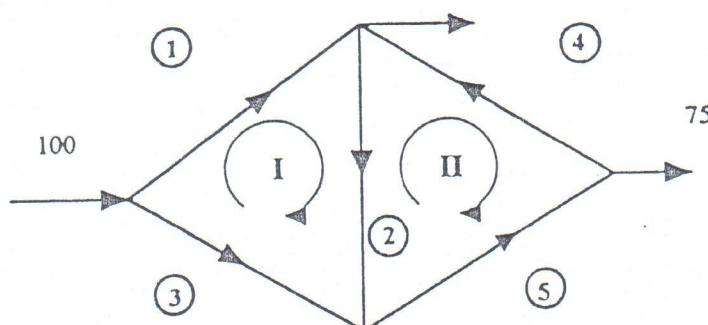
$$(13-9) \quad Q_n = Q + \Delta q$$

ويعرض الشكل رقم (٥-٩) مثلاً على استخدام طريقة هاردي كروس لحساب الضغوط.

مثال على طريقة هاردي كروس:

الماسورة (Pipe)	K	Q	n
1	1	50	2
2	3	40	2
3	2	50	2
4	2	15	2
5	1	90	2

25



شكل رقم (٥-٩)

مثال على استخدام طريقة هاردي كروس لحساب الضغوط

المحاولة الأولى			
الدائرة الأولى I			
المسورة	Ω	KQ^n	nKQ^n/Q
1	50	2500	100
2	40	4800	240
3	-50	-5000	200
		2300	540
$\therefore q_1 = \frac{-2300}{540} = -4.26$		$\therefore q_2 = \frac{-13350}{480} = 27.81$	
المحاولة الثانية			
1	45.74	2092.15	91.48
2	7.93	188.65	47.58
3	-54.26	-5888.3	217.04
		-3607.49	356.1
$\therefore q_1 = \frac{-3607.49}{356} = 10.13$		$\therefore q_2 = \frac{-3728.06}{223.2} = 16.7$	
المحاولة الثالثة			
1	55.87	3118.1	111.68
2	1.36	5.55	8.16
3	-44.13	-3900.2	176.6
		-776.79	296.3
$\therefore q_1 = \frac{-776.79}{296.3} = 2.62$		$\therefore q_2 = \frac{-333.21}{217.18} = 1.53$	

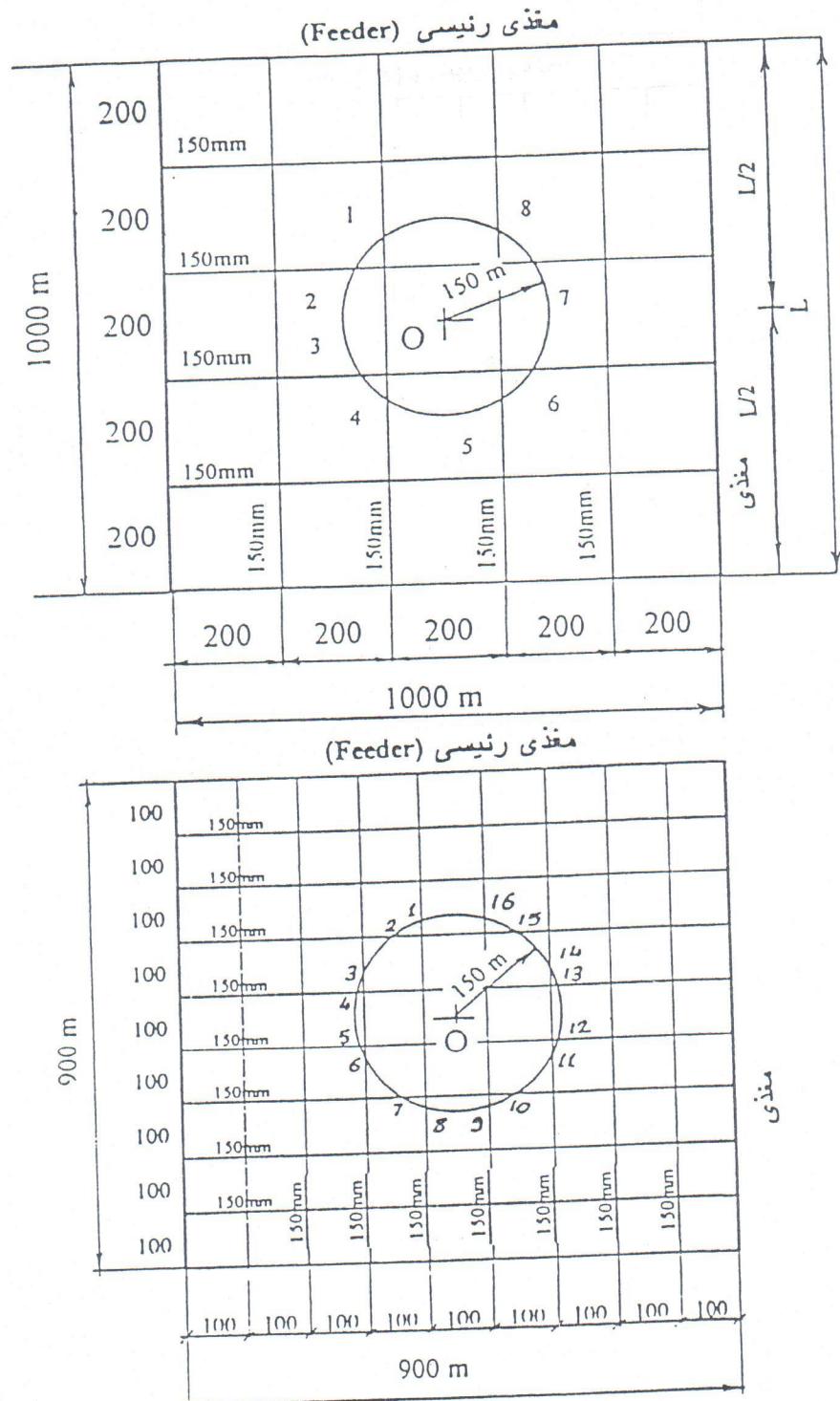
٤. طريقة الدائرة
ستستخدم طريقة الدائرة (Circle Method) في تصميم أو الكشف عن أي نقص في الضغط في شبكات المواسير الفرعية (قطر ١٠٠، ١٥٠ مم)، وذلك باستخدام التصرف اللازم للحريق. وتلخص خطوات هذه الطريقة فيما يلى:

- رسم الشبكات الفرعية على ورق مربعات أو بمقاييس رسم مناسب.
- رسم دائرة قطرها ٣٠٠ متر تقطع الخطوط الفرعية في عدة نقاط.
- افترض أن المواسير المقطوعة تعطى تصرفاً يكفي احتياجات الحريق، ومنه يحسب نصيب كل ماسورة من هذا التصرف. مع الأخذ في الاعتبار أنه إذا كانت أقطار المواسير متساوية، يتساوى نصيب كل منها من التصرف، أما إذا كانت المواسير غير متساوية القطر، فيستعمل الجدول رقم (٤-٩) التالي لتحويل هذه المواسير إلى مواسير ذات قطر واحد.

جدول رقم (٤-٩)
تحويل المواسير إلى مواسير مكافئة

قطر الماسورة المقطوعة والمطلوب تحديد المكافئ لها					
عدد المواسير قطر ١٠٠ مم المكافئة للماسورة المقطوعة					
٣٠٠ مم	٢٥٠ مم	٢٠٠ مم	١٥٠ مم	١٠٠ مم	
٢٠	١٢	٦,٦	٣	١	

- يتم حساب الفاقد في الضغط في الماسورة من معادلة (٣-٩) على أساس قطرها والتصرف الخارج منها وبعدها عن الماسورة الرئيسية المغذية لها.
- يجب أن يكون الضغط في كل ماسورة عند نقاط التقاطع أكبر من أو يساوي ١٥ متراً أو الضغط الخاص بالحريق.
- في حالة اكتشاف نقص في الضغط عن هذا المقدار، في إحدى المواسير الفرعية في الشبكة تستبدل بamasورة ذات قطر أكبر ويعاد الحساب من جديد.
- إذا مسّت الدائرة أحد الخطوط اعتبرت نقطة التماس كما لو كانت ماسورتين. ويوضح الشكل رقم (٦-٩) مثلاً لطريقة الدائرة وكيفية تطبيقها.



شكل رقم (٦-٩)

مثال لنطريقة الدائرة لحساب الضغوط

**التصميم م
الهيدروليكي
باستخدام
الحاسوب الآلي**

٢٢-٩

الفصل التاسع: التصميم الهيدروليكي لشبكات توزيع مياه الشرب

يمكن استخدام الحاسوب الآلي في تصميم شبكة توزيع مياه الشرب وذلك بواسطة استخدام أحد برامج الحاسوب الآلي المتخصصة في هذا المجال ومنها برنامج الـ "CYBERNET". وفي هذه الحالة تتبع الخطوات التالية:

- أ- إدخال البيانات الأساسية للحاسوب الآلي
- ب- استقراء النتائج الخارجة من الحاسوب الآلي
- ج- تحليل النتائج

هناك سبع مجموعات من البيانات التي يتم إدخالها إلى الحاسوب الآلي لتصميم الشبكة. وهي تشمل:

- ١- نموذج الشبكة المقترحة
- ٢- بيانات المواسير
- ٣- بيانات نقاط الاتزان
- ٤- بيانات مصدر المياه
- ٥- مواقع محابس التحكم
- ٦- معدلات الذروة
- ٧- بيانات تصرفات الحرائق

**أ- إدخال البيانات
الأساسية إلى
الحاسوب الآلي**

١- نموذج الشبكة المقترحة : (Computer model)

يتم عمل نموذج للشبكة المقترحة على الحاسوب الآلي يعبر عن شبكة التغذية بمياه الشرب بما فيها من مواسير ونقاط اتزان (Nodes)، وما يتصل بها من أعمال محطات الضخ والخزانات والمحابس الرئيسية وخلافه. ويعبر هذا النموذج عن النظام المقترن للتغذية بمياه الشرب.

٢- بيانات المواسير : (Pipe Data)

يتم إدخال بيانات المواسير بالشبكة مثل:

- الرقم المسلسل لكل ماسورة.
- أطوال المواسير بالمتر.
- قطرات المواسير (المبدئية) بالسنتيمتر.

- معامل الاحتكاك لقطاع الماسورة (يعتمد على نوع الماسورة وعمرها).

٣- بيانات نقاط الاتزان (Node Data):

يتم إدخال بيانات نقاط الاتزان بالشبكة. ونقطة الاتزان هي نقطة التقاطع بين ماسورتين أو بداية أو نهاية ماسورة، والبيانات التي يتم إدخالها هي:

- الرقم الممتد لكل نقطة اتزان

- منسوب الأرض عند كل نقطة اتزان

- التصرف بكل نقطة اتزان، وهو يساوى:

المساحة المخدومة بكل نقطة × الكثافة السكانية × متوسط استهلاك مياه الشرب للفرد.

٤- بيانات مصدر المياه (Water Source Data):

يتم إدخال بيانات مصدر المياه مثل محطات الضخ والخزانات كالتالي:

- بيانات الخزانات العالية (مثل الارتفاع والقطر).

- بيانات منحنيات الطلبات وعدد الطلبات المستخدمة.

٥- مواقع محابس التحكم (Control Valves Locations):

يتم إدخال موقع محابس التحكم مثل محابس تخفيض الضغط أو محابس تثبيت الضغط أو محابس التحكم في التصرف ... إلخ.

٦- معدلات الذروة (Peak Factors):

يتم إدخال بيانات التصرفات المتوسطة عند كل نقطة اتزان، على أن يتم إدخال منحني التصرف اليومي للفرد بما فيه من معاملات ذروة قصوى ودنيا وذلك لكي يناسب التحليل الهيدروليكي (ظروف التشغيل على مدار اليوم).

٧- بيانات تصرفات الحريق (Fire Flows):

يتم إدخال بيانات تصرفات الحريق عند بعض النقاط المختارة بحيث تعبر عن احتمالية حدوث حالات حريق في أماكن متفرقة وذلك لدراسة شكل واتزان الشبكة في تلك الحالات.

يقوم الحاسوب الآلي بعمل التحليل الهيدروليكي للبيانات المختلفة التي تم إدخالها ثم يعطي نتائج تتمثل فيما يلى:

- السرعات في المواسير.
- اتجاه السريان في كل ماسورة.
- الفوائد في الاحتكاك في المواسير.
- ضغط المياه عند كل نقطة اتزان.
- التصرف الكلى والضغط المطلوب عند الطلبات.

بـ- استقرار النتائج الخارجة من الحاسب الآلي

بعد استقرار النتائج يتم تحليلها بواسطة المهندس الهيدروليكي، الذى يقوم بتعديل أقطار المواسير وبيانات الطلبات للوصول إلى أنساب الحلول لحدوث اتزان للتصرفات والضغط بالشبكة.

جـ- تحليل النتائج

ويقوم المهندس الهيدروليكي بتحليل النتائج الخارجة من الحاسوب الآلي لكل حالة من حالات التشغيل المختلفة وتعديل التصميم تبعاً لذلك.

وتشمل حالات التشغيل المختلفة حالتين هما:

- ١- حالة التصرف الأقصى (Peak Demand).
- ٢- حالة التصرف الأقصى + تصرف الحرائق (Peak demand + Fire demand)

١ - التشغيل في حالة التصرف الأقصى (Peak demand):

وفي هذه الحالة يتم إمداد الحاسوب الآلي بالبيانات في حالة أقصى تصرف. وتشمل النتائج الخارجة من الحاسوب الآلي البيانات الآتية:

- * التصرف الأقصى.
- * أقصى ضغط للماء عند نقاط الاتزان.
- * أقل ضغط للماء عند نقاط الاتزان.
- * أقطار مواسير التغذية بالمياه.
- * يحدد الحاسوب الآلي ما إذا كان سيتم استخدام طلمبة واحدة أو مجموعة طلبات في حالة أقصى تصرف.

٢- التشغيل في حالة التصرف الأقصى + تصرف الحريق

:(Peak demand + Fire demand)

في هذه الحالة يتم إمداد الحاسب الآلي بالبيانات في حالة أقصى تصرف + تصرف الحريق. وتشمل النتائج الخارجة من الحاسب الآلي البيانات الآتية:

- * التصرف الأقصى+ تصرف الحريق.
- * أقصى ضغط للماء عند نقاط الإنزان.
- * أقل ضغط للماء عند نقاط الإنزان.
- * أقطار مواسير التغذية بالمياه وهي نفس أقطار المواسير المستخدمة في حالة أقصى تصرف.
- * يحدد الحاسب الآلي ما إذا كان سيتم استخدام طلمبة واحدة أو أكثر على التوازى في هذه الحالة.

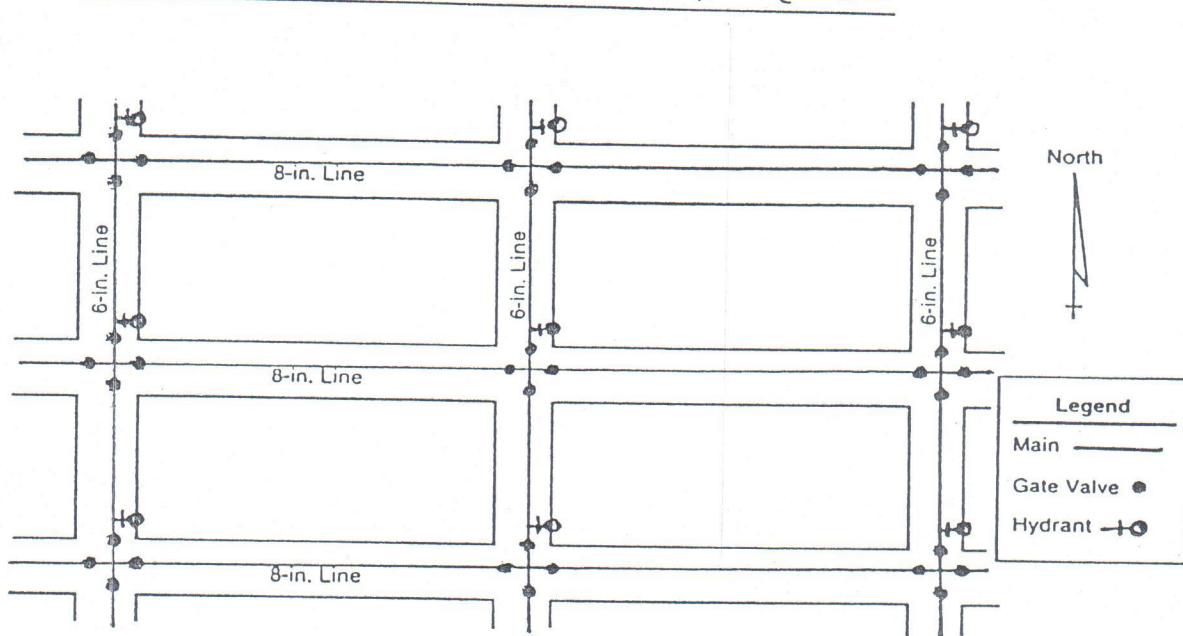
ويوضح الشكل رقم (٧-٩) خطوط مواسير شبكات توزيع مياه الشرب.

عند اختيار أقطار المواسير التي تضغط فيها المياه لمسافات بين محطة طلمبات الضغط العالى والمدينة (شكل ٨-٩) فإنه يجب مراعاة اختيار أقطار هذه المواسير بحيث تكون التكلفة أقل ما يمكن - ويمكن تقسيم تكاليف مثل هذه المواسير إلى:

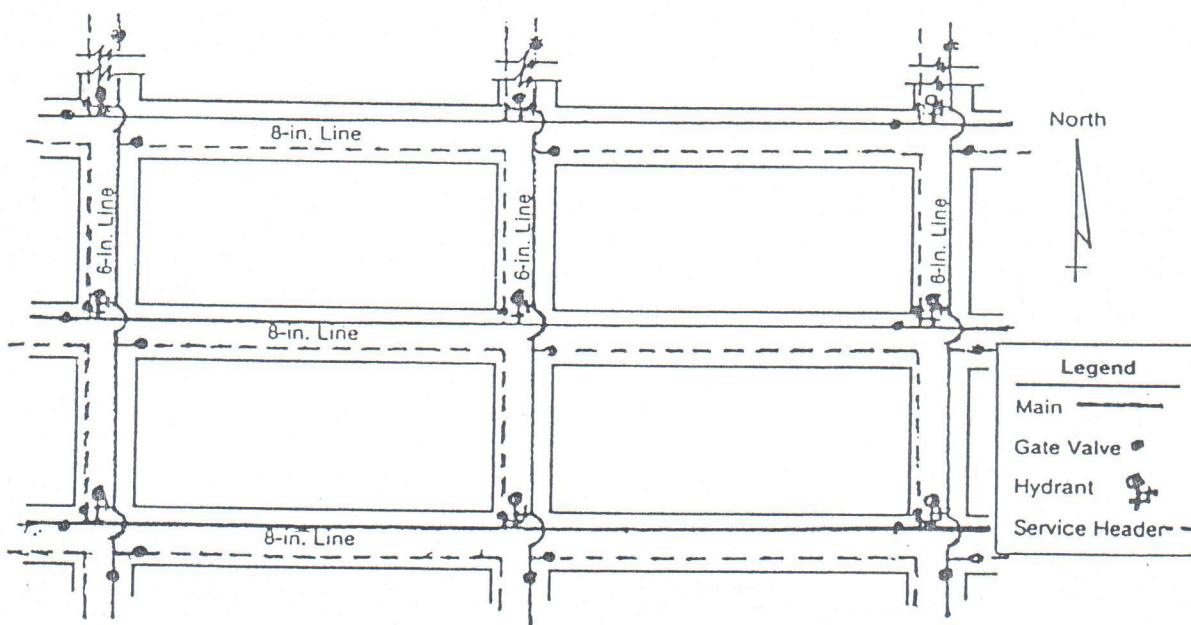
**القطر الاقتصادي
للمواسير**

١- الثمن الأساسي للمواسير بما فيه تكاليف الإنشاء - وهذا الثمن يتزايد مع كبر قطر الماسورة؛ نظراً لزيادة كمية الحديد المستعمل في الماسورة وكذلك لزيادة التكاليف الإنسانية مع كبر القطر. وهذا الثمن الأساسي يفترض استهلاكه في المدة التي تخدم فيها الماسورة (عمر الماسورة وهذا يساوى عادة حوالي خمسين عاماً).

٢- الفائدة السنوية لرأس المال الذي استغل في الثمن الأساسي وهذه الفائدة تتزايد مع كبر رأس المال.



Single-main system layout.



Dual-main system layout.

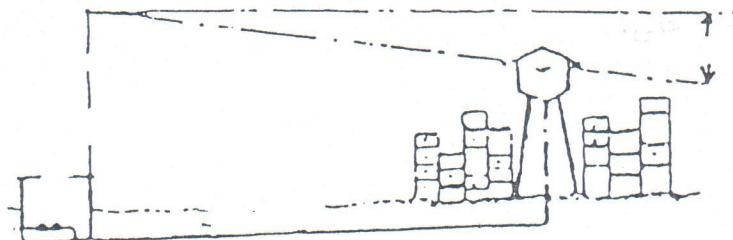
شكل رقم (٧-٩)

خطوط مواشير شبكات توزيع مياه الشرب

-٣- تكاليف ضغط الماء في الماسورة وهذه نقل مع كبر قطر الماسورة إذ أن الفاقد في الاحتكاك في الماسورة يقل مع كبر قطر الماسورة - ومن ثم فإن قوة الطلبات اللازمة لضغط المياه نقل وبالتالي تقل القوة الكهربائية المستعملة.

وبذلك تكون التكاليف السنوية للماسورة.

- ١- رأس المال مقسوماً على عدد سنين خدمة الماسورة.
- ٢- الفائدة السنوية لرأس المال.
- ٣- تكاليف القوة المحركة لطلبات الضغط.



شكل رقم (٨-٩)

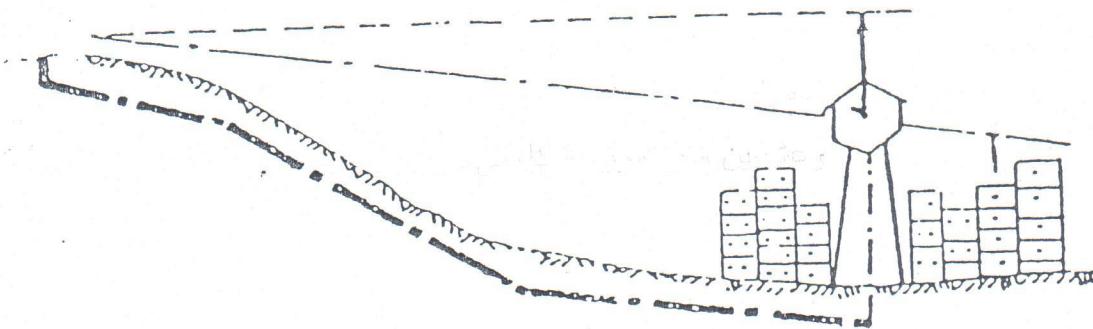
اختيار قطر المواسير المناسب لبعد المسافة
بين محطة الضغط والمدينة

ونلاحظ أن البند ١ - ٢ يأخذان في الزيادة إذ أخذ البند الثالث في النقصان.
ويمكن الحصول على أقل مجموع للثلاثة بنود بتطبيق قاعدة كلفن التي تنص
على:

"إذا تساوت التكاليف الآخذه في الزيادة مع التكاليف الآخذه في النقصان فإن
جملة التكاليف تكون أقل ما يمكن".

القطر الاقتصادي لمواسير تسير بالانحدار الطبيعي:

هناك بعض الحالات التي تكون فيها محطة التنقية على منسوب عال بالنسبة للمدينة بحيث يسير الماء في الماسورة الرئيسية بالانحدار الطبيعي دون الحاجة إلى محطة طلمبات (شكل رقم ٩-٩). وفي هذه الحالة يحسن اختيار قطر الماسورة هذه بحيث يكون الفاقد في الاحتكاك مساوياً للفرق بين منسوب المياه في محطة التنقية، ومنسوب المياه في خزان المياه العلوى في أقصى المدينة والذي يكون ارتفاعه كافياً لحفظ المياه على منسوب كاف لرفع المياه إلى الدور الرابع في أي منزل في المدينة.



شكل رقم (٩-٩)

فأقد الاحتكاك في المواسير يساوى الفاقد
بين المنسوبين (محطة التنقية والخزان)

تنص بعض الموصفات على أنه يجب حفظ الضغط في شبكات التوزيع بحيث يكون كافياً لرفع المياه إلى الدور الرابع في المساكن في أي مكان في المدينة. على أن يكون عند وصوله إلى هذه الأدوار تحت ضغط قدره ستة أمتار على الأقل وبذلك بحيث لا يقل عامود الضغط في المواسير من وعشرين متراً موزعة كالتالي:

الضغط في شبكات التوزيع

٤ متراً ارتفاع أربعة أدوار

٥ متراً فاقد في مواسير التوزيع داخل المنزل

٦ متراً عamod على الصنابير داخل المنزل

٢٥ متراً للمجموع

وتنص بعض الموصفات الأخرى على ألا يقل الضغط في المواسير الرئيسية في المدينة عن ٤٠ رطل على البوصة المربعة أى ثلاثة كيلوجرام على السنتمتر المربع - أما الضغط في المواسير الفرعية فيجب ألا يقل ٢٠ رطل / على البوصة المربعة أى ١,٥ كيلوجرام على السنتمتر المربع.

أى أن عمود ضغط الماء يجب ألا يقل عن ثلاثة متراً في المواسير الرئيسية ولا يقل عن خمسة عشر متراً في المواسير الفرعية.

كما ينص في بعض الأحوال على ألا يقل الضغط في المواسير من ٦٠ أو ٧٥ رطل على البوصة المربعة (٤ - ٥ كيلوجرام على السنتمتر المربع وذلك لضمان ضغطاً كافياً لمقاومة الحرائق. ألا أن حفظ هذا الضغط في الشبكة يتطلب مواسير خاصة لا تتسرب منها المياه تحت هذا الضغط العالي نسبياً - وذلك يفضل ألا يتجاوز الضغط ٤٠ رطل بوصلة مربعة أى ثلاثة كيلو جرام / سنتمتر مربع - وفي هذه الحالة ينصح باستعمال طلمبات متقللة لضخ الماء من مواسير التوزيع في خراطيم مقاومة الحرائق عند الحاجة لذلك.

كما أنه في بعض المدن توجد شبكتان للتوزيع يحتفظ في شبكة منها بضغط عادة ٢٠ - ٤٠ رطل / البوصة المربعة أى ١,٥ - ٣ كيلو جرام / سنتمتر المربع. ويحفظ في الأخرى بضغط عالي من ٦٠ - ٨٠ رطل البوصة المربعة أى ٤ - ٦ كيلو جرام / سنتمتر المربع - وستعمل الشبكة الأولى في الأغراض العادية. أما الشبكة الثانية فستعمل في أغراض مقاومة الحرائق أو الأغراض الصناعية الخاصة.