الشركة القابضة
لمياه الشرب والصرف الصحي

برنامج إدارة مياه الشرب و الصرف الصحى
Water and Wastewater Management Program

gtz

Since the 1st of January 2011
giz Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

دورة مراجعة تصميم شبكات المياه والصرف الصحي

إعداد
برنامج إدارة مياه الشرب والصرف الصحي
ابريل 2008

مراجعة تصميم شبكات المياه والصرف الصحي

اعداد

برنامج ادارة مياه الشرب والصرف الصحي

2008

مراجعة تصميم شبكات المياه و الصرف الصحي

جدول المحتويات

تقديـــم

الفصل الأول البيانات الأساسية اللازمة لتصميم شبكات مياه الشرب

مقدمـــــــة

التنبؤ بعدد السكان.

حساب معدلات الاستهلاك المختلفة.

تقدير الزيادة فى معدلات الاستهلاك المستقبلية.

حساب التصرفات التصميمية.

عمل الدراسات الميدانية.

الفصل الثانى تخطيـــــط شبكات توزيع المياه

مكونات شبكات التوزيع

محطات ضخ المياه

شبكات توزيع المياه

منشآت التخزين

النظم الهندسية للتغذية بمياه الشرب

التغذية بالجاذبية

التغذية بالضغط

التغذية المشتركة

تخطيط شبكات التوزيع

التخطيط الشجري

التخطيط الدائري

التخطيط الشبكي

التخطيط القطري

الفصل الثالث : منشآت تخزين مياه الشرب

الغرض من منشآت تخزين مياه الشرب

أنواع الخزانات

الخزان الأرضـــــي

الخزان العلوي

الخزان الأنبوبي

خزان الموازنة العلوي

سعة التخزين

التخزين الأرضي

التخزين العلوي

اختيار موقع الخزان العالـــــي

الفصل الرابع : محطات طلمبات الضغط العالـــــي

التصرف التصميمي لمحطة الطلمبات

أنواع الطلمبات المستعملة

ضغوط التشغيل

موقع الطلمبات بالنسبة لمنسوب المياه في البيارة

القوي المحركة للطلمبات

أنواع المحابس المستخدمة

أجهزة القياس

الفصل الخامس : التصميم الهيدروليكي لشبكات توزيع مياه الشرب

اعتبارات التصميـــــم الهيدروليكي

التصرف التصميمي

الضغوط التصميمية

السرعات التصميمية
المعادلات الهيدروليكية التي تربط بين المتغيرات الرئيسية
خطوات التصميم الهيدروليكي
حساب الضغوط في أجزاء الشبكة
التصميم الهيدروليكي باستخدام الحاسب الآلـــــي
خطوات التصمميم
ادخال البيانات الأساسية
استقراء النتائج
تحليل النتائج
القطر الاقتصادي للمواسير
القطر الاقتصادي للمواسير الانحدار الطبيعي
الضغط في شبكات التوزيع

الفصل السادس : مصادر مياه الصـــــرف الصـــــحي

مياه الصرف الصحي المنزلية
مياه الأمطار
المخلفات الصناعية السائلة
مياه الرشح
مياه غسيل الشوارع و الأرصفة
مكونات و خصائص المخلفات السائلة
الاختبارات المعملية
التأثير البيئي لمياه الصرف الصحـــــي

الفصل السابع : التصرفات المتغيرة لمياه الصرف الصحي

تصرفات مياه الصرف الصحي
التصرفات الآدمية
التصرفات الصناعية

التصرفات التجارية
مياه الرشح
التصرفات القصوي
التصرف الأدني

الفصل الثامن : التصميم الهيدروليكي لشبكات الصرف الصحي

معادلة الاستمرارية

المعادلات الهيدروليكية

معادلة مانينج

اعتبارات التصميم

القطاعات الطولية لشبكات الانحدار

الفصل التاسع : تخطيط شبكات تجميع مياه الصرف الصحي

أنواع شبكات التجميع

شبكات الصرف المشتركة

شبكات الصرف المنفصلة

شبكات الصرف المشتركة الجزئية

الأحوال التي تستعمل فيها شبكات الصرف المشتركة

الأحوال التي تستعمل فيها شبكات الصرف المنفصلة

تخطيط شبكات التجميع

التخطيط العمودي

التحطيط المروحي

التخطيط المحوري

التخطيط بتقسيم المدينة الي مناطق صرف

تخطيط شبكة الصرف الصحي في منطقة المشروع

تـقـديـــــــــم

يهدف برنامج إدارة المياه و الصرف الصحى (WWM) أحد مشروعات الوكالة الألمانية للتعاون الدولى (GTZ) إلى دعم قدرات الشركة القابضة لمياه الشرب و الصرف الصحى فى مجالات التدريب و الخطط الإستثمارية بالإضافة إلى إعداد و تحليل بيانات مراقبة الأداء من خلال مؤشرات الأداء و كذلك دعم الشركة القابضة فى تأسيس شركات تابعة جديدة و سيتم تنفيذ هذة الأنشطة خلال ثلاث سنوات تنتهى فى نهاية عام 2009

و دعما لدور الشركة القابضة فى دعم قدرات الشركات التابعة فى قطاع مياه الشرب و الصرف الصحى، يقوم برنامج إدارة المياه و الصرف الصحى بمشاركة الشركة القابضة لمياه الشرب و الصرف الصحى فى إعداد مجموعة من الدورات التدريبية التخصصية فى مجال الخطط الإستثمارية و المخطط العام لمياه الشرب و الصرف الصحى

نظرا لما تبذله الشركة القابضة لمياه الشرب والصرف الصحى من مجهودات لتحقيق التوازن على مستوى الشركات التابعة لها والتوزيع العادل للخدمات مع وضع إطار عام وإستراتيجية واضحة المعالم لتطوير وإدارة خدمات مياه الشرب والصرف الصحى وفقا لتصور شامل لتنمية القطاع على المستوى الإقليمى وتحديد الخيارات الأساسية التى يمكن أخذها فى الإعتبار للتنمية المستقبلية لمصادر الإنتاج، ولذلك ظهرت الحاجة إلى إعداد مخططات عامة حديثة لقطاعى المياه والصرف الصحى على مستوى الشركات التابعة لتلائم التغيرات الحالية والمستقبلية وتغطى الإحتياجات من مياه الشرب والصرف الصحى حتى سنة 2037.

ويقوم بإعداد المخططات العامة نخبة من المكاتب الإستشارية التى تم تقييم خبراتها من الشركة القابضة لمياه الشرب والصرف الصحى وذلك لضمان تحقيق أداء متميز ومستوى جيد لإعداد المخططات العامة وتعمل المكاتب الإستشارية تحت إشراف لجان مراجعة لأعمال المخطط العام على مستوى الشركات التابعة وكذلك لجنة عليا بالشركة القابضة.

حرصا وحفاظا على تنفيذ المخططات العامة التى سيتم الإنتهاء منها على مستوى الشركات التابعة وكذلك تحديثها لما يتلائم مع الظروف المتغيرة مستقبلا من تطورات عمرانية وخلافه ، فقد تم إنشاء وحدات لمخطط العام

بكل شركة من الشركات التابعة مكونة من مجموعة من المهندسين فى مجالات متعددة وخبير إقتصادى ويكون دور هذة الوحدة القيام بمتابعة تنفيذ أعمال ومشروعات المخطط العام حتى سنة الهدف وكذلك القيام بتحديثه وعمل الموازنات وتوزيع الإستثمارات لتنفيذ المشروعات طبقا للخطط الخمسية.

ولما كان دور وحدة المخطط العام ذو أهمية قصوى للحفاظ على إستدامة المخطط العام وتنفيذه وتحديثه ، كان لابد من رفع المستوى الفنى والإدارى لمجموعة العمل بالوحدات على مستوى الشركات التابعة وكذلك الوحدة الرئيسية بالشركة القابضة، ومن هذا المنطلق نمت فكرة هذا البرنامج التدريبى " برنامج تدريب العاملين بالشركات التابعة للشركة القابضة لمياه الشرب والصرف الصحى - وحدات المخطط العام" ويهدف البرنامج التدريبى لرفع الكفاءات والقدرات الفنية والإدارية لمجموعة العمل بوحدات المخطط العام فى مجالى المياه والصرف الصحى ويشمل البرنامج عدة دورات تدريبية تتناول مراجعة أعمال التصميم لكلا من أعمال معالجة مياه الصرف الصحى وأعمال شبكات المياه والصرف الصحى وكذلك أعمال تنقية مياه الشرب بالإضافة إلى التدريب على إستخدام الحاسب الألى والبرامج الحديثة المستخدمة فى تصميم وأعمال التحليل الهيدروليكى لشبكات المياه واصرف الصحى ويشمل البرنامج أيضا دورات فى مجالى التحليل الإقتصادى وحساب التكاليف لمشروعات المياه والصرف الصحى

و يتكون هذا الكتيب من عدد 9 فصول فى مجال مراجعة تصميم شبكات المياه و الصرف الصحى

يتناول الفصل الأول مقدمة عن التنبؤ بعدد السكان و حساب معدلات الاستهلاك المختلفة و تقدير الزيادة فى معدلات الاستهلاك المستقبلية وحساب التصرفات التصميمية و عمل الدراسات الميدانية.

ويتناول الفصل الثانى تخطيـط شبكات توزيع المياه شاملة مكونات شبكات التوزيع و محطات ضخ المياه و شبكات توزيع المياه و منشآت التخزين و النظم الهندسية للتغذية بمياه الشرب و التغذية بالجاذبية و التغذية بالضغط و التغذية المشتركة و تخطيط شبكات التوزيع و التخطيط الشجري و التخطيط الدائري و التخطيط الشبكي و التخطيط القطري

ويتناول الفصل الثالث منشآت تخزين مياه الشرب و يشمل الغرض من منشآت تخزين مياه الشرب و أنواع الخزانات و الخزان الأرضـــي و الخزان العلوي و الخزان الأنبوبي و خزان الموازنة العلوي و سعة التخزين و التخزين الأرضي و التخزين العلوي و اختيار موقع الخزان العالـــي

ويتناول الفصل الرابع محطات طلمبات الضغط العالـــي من حيث تصرفاتها و أنواعها و ضغوط تشغيلها ....إلخ

و يتناول الفصل الخامس التصميم الهيدروليكي لشبكات توزيع مياه الشرب و المعادلات المستخدمة فى التصميم و مقدمة عن التصميم الهيدروليكى بالحاسب الألى

و يستعرض الفصل السادس تصميم شبكات الصرف الصحى من حيث مصادر مياه الصرف الصحى و الإختبارات المعملية المطلوبة و التأثير البيئي لمياه الصرف الصحـــي

أما الفصل السابع فيعرض أنواع تصرفات مياه الصرف الصحي المختلفة و طرق حساب التصرفات القصوى و الدنيا

و يعرض الفصل الثامن التصميم الهيدروليكي لشبكات الصرف الصحي حيث يعرض المعادلات الهيدروليكية المستخدمة فى التصميم و الإعتبارات التى تؤخذ فى الإعتبار

و أخيرا يعرض الفصل التاسع تخطيط شبكات تجميع مياه الصرف الصحي حيث يتطرق لأنواع شبكات التجميع و إستخدامات كلا منها و كذا الطرق المختلفة لتخطيط الشبكات

1	الفصل الأول

البيانات الأساسية اللازمة لتصميم شبكات مياه الشرب

مقدمـة

تعتبر البيانات الأساسية، والتى يتم الحصول عليها عن طريق الدراسات المبدئية، هى مدخلات لعملية تصميم ناجحة، تحقق الهدف المصممة من أجله الشبكة. ولما كانت شبكات توزيع المياه تنشأ لخدمة مجتمع فى فترة تصميمية لا تقل فى أغلب الأحيان عن عشرة إلى خمسة عشر عاماً، فإنه لا يكتفى بالحصول على البيانات الأساسية للوقت الحاضر فقط، ولكن يلزم التنبؤ بالبيانات المستقبلية وذلك بدراسة النمط السابق لنمو هذه البيانات.

وعلى هذا فإن البدء فى تصميم شبكة مياه لمدينة أو منطقة معينة يتطلب تقدير كمية المياه اللازمة حالياً، ومستقبلياً وهذا يستوجب القيام بالدراسات المبدئية الآتية:

- التنبؤ بعدد السكان.
- حساب معدلات الاستهلاك المختلفة.
- تقدير الزيادة فى معدلات الاستهلاك المستقبلية.
- حساب التصرفات التصميمية.
- عمل الدراسات الميدانية.

التنبؤ بعدد السكان

لما كان خط المواسير الذى يستخدم فى نقل المياه الحالية والمستقبلية ذا عمر افتراضى يتراوح بين 30 و 50 سنة فإنه يجب تقدير عدد السكان طوال المدة التى يخدم فيها الخط بدقة كافية، حتى لاتسبب زيادة التقدير حدوث زيادة فى أقطار

المواسير، وبالتالى زيادة تكاليف الخط، وحتى لا يسبب نقص التقدير حدوث قصور فى خدمة الإمداد بالمياه اللازمة.

والطرق المستخدمة فى التنبؤ بعدد السكان هى:

1. الطريقة الحسابية (Arithmetic Increase).
2. الطريقة الهندسية (Geometric Increase).
3. طريقة الزيادة بالمعدل المتناقص (Decreasing Rate of Increase).
4. طريقة افتراض الكثافات السكانية.
5. الطريقة البيانية التقريبية.
6. طريقة المقارنة البيانية.

وسوف يتم التركيز هنا على الطريقة الحسابية الهندسية وطريقة الكثافات حيث أنها أكثر الطرق استخداما وتناسبا مع منحنى النمو السكانى للمجتمعات المصرية.

الطريقة الحسابية

وتطبق فيها المعادلة الآتية:

$$Pn = Po + Ka\,(tn - t_l) \qquad (1\text{-}1)$$

الطريقة الهندسية

وتطبق فيها المعادلة الآتية:

$$\ln P_n = \ln P_o + Kg\,(t_n - t_l) \qquad (2\text{-}1)$$

حيث أن:

P_n : التعداد الذى يخدمه المشروع فى سنة الهدف

P_o : أخر تعداد للمنطقة ويؤخذ حسب بيان التعبئة والأحصاء

K_a : معدل الزيادة السنوية للسكان (معدل ثابت)

K_g : معدل الزيادة السنوية للسكان فى الطريقة الهندسية (متزايد)

t_n-t_1 : الفترة الزمنية التى يخدم فيها المشروع

ln : اللوغاريتم الطبيعى للأساس 2.7

طريقة الكثافات السكانية

وتتوقف هذه الطريقة على تخطيط المدينة أو المنطقة والجدول (1-1) يعطى الكثافات التى حددها الكود المصرى لتصميم الشبكات.

جدول رقم (1-1) : الكثافات السكانية التى تستخدم عند حساب عدد السكان المتوقع فى تخطيط المدينة أو المنطقة

الكثافة السكانية (فرد/هكتار)	نوعية المسكن
10	فيلات درجة أولى
60-30	فيلات درجة ثانية
250-100	عمارات سكنية صغيرة
700-240	عمارات سكنية متوسطة
1200-700	عمارات سكنية كبيرة
75-50	مناطق تجارية
30-20	مناطق صناعية

حساب معدلات الاستهلاك المختلفة

يمكن تقسيم أنواع الاستهلاكات إلى مايلى:

- استهلاك منزلى.
- استهلاك غير منزلى، ويشمل كل من الاستهلاك التجارى والصناعى والاستهلاك العام.

أ) الاستهلاك المنزلى

وهو يشمل كل ما يخص استهلاك المياه داخل المنزل من نظافة وشرب وإعداد طعام ..إلخ.

ب) الاستهلاك غير المنزلى

ويشمل جميع عناصر الاستهلاك غير المنزلى من مدارس، مستشفيات، فنادق، مساجد ومكاتب ..إلخ، والجدول رقم (1-2) يوضح معدل الاستخدام النمطى غير المنزلى، ويعبر عن معدل الاستهلاك الكلى اليومى للمياه باللتر/فرد/يوم، ويختلف هذا المعدل باختلاف فصول السنة وكذلك أشهر السنة وأيضا فى خلال الساعة من اليوم، ولمواجهة هذه التغيرات فى معدلات الاستهلاك أمكن تعريف معدلات الاستهلاك المختلفة، واستنتاج متوسط الاستهلاك اليومى على مدار العام، كمقياس لبقية معدلات الاستهلاك، وفيمايلى تعريفات لمعدلات الاستهلاك المختلفة:

- متوسط الاستهلاك اليومى على مدار العام (Average Of Annual Daily Consumption)، ويحسب بقسمة جملة الاستهلاك للمياه خلال العام على عدد أيام السنة.
- أقصى استهلاك شهرى (Maximum Monthly Consumption)، يعين الشهر الذى يقع فيه مجموع أكبر استهلاك، ويؤخذ متوسط الاستهلاك اليومى خلال هذا الشهر، فيكون هو أقصى استهلاك شهرى، ويمكن تقديره بحوالى

(1.25 – 1.50) من متوسط الاستهلاك اليومى على مدار العام ويؤخذ (1.40).

- أقصى استهلاك يومى (Maximum Daily Consumption)، يعين الشهر الذى يحدث فيه أكبر استهلاك خلال السنة، ثم يعين اليوم الذى يحدث فيه أكبر استهلاك فيكون هذا الاستهلاك هو أقصى استهلاك يومى، ويمكن تقديره بحوالى (1.60-1.80) من متوسط الاستهلاك اليومى على مدار العام.
- أقصى استهلاك فى الساعة (Maximum Hourly consumption)، يعين اليوم الذى يحدث فيه أكبر استهلاك خلال السنة والذى يعطى أقصى استهلاك يومى، ثم يُرسم منحنى الاستهلاك خلال ساعات هذا اليوم ومنه يحدد أقصى استهلاك فى الساعة ويمكن تقديره بحوالى 2.50 من متوسط الاستهلاك اليومى على مدار العام.
- وترجع أهمية دراسة معدلات الاستهلاك فى تعيين التصرفات المختلفة للإمداد بالمياه، حيث يستخدم (أقصى استهلاك شهرى) فى تصميم أعمال التنقية، (وأقصى استهلاك يومى) فى تصميم الخطوط الرئيسية والخطوط الفرعية وأعمال التخزين للشبكة، ويستخدم (أقصى استهلاك ساعة) فى تصميم خطوط التوزيع فى الشبكة، وكذلك فى تصميم وصلات الخدمة فى البيوت.

والشكلان رقما (1-1)، (1-2) يوضحان العلاقة بين معدلات الاستهلاك.

جدول رقم (1-2): معدل الاستهلاك النمطى غير المنزلى فى القرى

الفئـة	الاستخدام النمطى (لتر/يوم)
المدارس	15-30 لكل تلميذ
المستشفيات (بها مغاسل)	220-300 لكل سرير

الفنـادق	80 – 120 للشخص
المقاهـى	65 – 90 للكرسى
المسـاجد	25 – 40 للزائر
السينما والمسرح	10 – 15 لكل كرسى
المكاتب	25 –40 لكل شخص
محطات الأتوبيس والسكة الحديد	15 –20 لكل شخص
معامل منتجات الألبان	2 – 5 لكل لتر لبن
المجـازر	10 – 50 لكل حيوان
الثروة الحيوانية:	
الماشـية	25 – 35 للرأس
الخيول والحمير	20 – 25 للرأس
الأغنــام	15 – 25 للرأس
الدواجـن	15-25 لكل 100 دجاجه

تقدير الزيادة فى معدلات الاستهلاك مستقبلاً

للحصول على معدلات الاستهلاك فى المستقبل تطبق المعادلات الآتية:

$$Percent\ \text{Increase} = \left[\left(\frac{P_n}{P_o}\right)^{0.125} - 1\right] x 100$$

أو

$$Percent\ \text{Increase} = \left[\left(\frac{P_n}{P_o}\right)^{0.11} - 1\right] x 100$$

وتطبق المعادلة الأولى فى حالة وجود عدادات قياس استهلاك المياه، وتطبق المعادل الثانية فى حالة عدم وجودها.

أما فى حالة معرفة النسبة المئوية لمعدل الزيادة السكانية فيمكن تطبيق المعادلة الآتية:

$$\text{Percent Increase} = \{(1+r)^n - 1 \text{ x } 100$$

حيث:

r : معدل الزيادة فى الاستهلاك سنويا وتؤخذ 10/1 من النسبة المئوية لمعدل الزيادة السنوية للسكان.

n : زمن المشروع (عدد السنين التى يخدم فيها المشروع).

وطبقا للدراسات التى تمت لمدن القاهرة، الإسكندرية، وبورسعيد وبعض محافظات الوجه القبلى والبحرى والمدن الجديدة (مثل العبور – 6 أكتوبر) تم تحديد متوسط الاستهلاك اليومى لمختلف مناطق الجمهورية من حيث كونها مدن أو عواصم محافظات أو مراكز أو ريف، ومتوسط الاستهلاك اليومى يمثل الاستهلاك المنزلى بالإضافة إلى الاستهلاك للأغراض العامة والصناعات الصغيرة، أما بالنسبة

للفواقد فى الشبكات فهى تتراوح بين 20-40 لتر/فرد/يوم، وهذه الكمية داخلة ضمن متوسط الاستهلاك اليومى، ويراعى خصم كمية الفاقد عند حساب معدلات الاستهلاك الأخرى.

والجدول رقم (1-3) يعطى متوسط الاستهلاك اليومى وكذلك كمية الفاقد خلال الشبكة.

جدول رقم (1-3): متوسط الاستهلاك اليومى وكمية الفاقد خلال الشبكة

حالة الاستخدام	متوسط الاستهلاك اليومى لتر/فرد/يوم	كمية الفاقد لتر/فرد/يوم	متوسط الاستهلاك الكلى لتر/فرد/يوم
عواصم المحافظات (المدن)	180	20-40	200-220
المراكز	150	15-30	165-180
القرى حتى 50000 نسمة	125	10-25	135-150
المدن الجديدة	280	صفر- 20	280-300

والمثال التالى يوضح كيفية حساب معدلات الاستهلاك لمدينة جديدة.

مثال

متوسط الاستهلاك اليومى للمدينة الجديدة (من جدول رقم 1-3).

= 280 – 300 لتر/فرد/يوم

= 280 + (صفر-20) لتر/فرد/يوم

كمية الفاقد خلال الشبكة = 20 لتر/فرد/يوم.

أقصى استهلاك شهرى = 1.40 × 280 + 20=412 لتر/فرد/يوم

أقصى استهلاك يومى = 1.80 × 280 + 20 = 524 لتر/فرد/يوم

أقصى استهلاك ساعة = 2.5 × 280 + 20 = 720 لتر/فرد/يوم

أما بالنسبة للاستهلاك الصناعى، ومن واقع الدراسات التى تمت لمدن القاهرة، الإسكندرية، وبورسعيد وبعض المحافظات تم تحديد قيم الاستهلاك الصناعى كما هو موضح بالجدول رقم (1-4).

جدول رقم (1-4) : قيم الاستهلاك الصناعى (لتر/هكتار/ثانية)

حالة الاستخدام	الاستهلاك الصناعى (لتر/هكتار/ثانية)
عواصم المحافظات (المدن)	2
المراكز	2
القرى حتى 50000 نسمة	2
المدن الجديدة	3

والجدول رقم (1-5) يوضح متوسط الاستهلاك اليومى فى حالة الفنادق – المبانى العامة – المبانى الحكومية – والمدارس والمستشفيات، أما بالنسبة لتصرفات الحريق فتؤخذ طبقا للجدول رقم (1-6).

جدول رقم (1-5) : متوسط الاستهلاك اليومى للمبانى العامة (المستشفيات – الفنادق – المدارس)

حالة الاستخدام	متوسط الاستهلاك (لتر/فرد/يوم)
مبانى عامة – مكاتب – مدارس	50 – 150
مستشفيات	500 – 1000 لتر/سرير/يوم
فنـــادق	180- 500 لتر/سرير/يوم

جدول رقم (1-6) : تصرفات الحريـق

عدد السكان (فرد)	تصرف الحريق (لتر/ث)
حتى 10.000	20
25.000	25
50.000	30
100.000	40
أكثر من 200.000	50

حساب التصرفات التصميمية

تحسب التصرفات التصميمية (Q-design) للخطوط حسب نوع التخطيط المتبع فى الشبكة، من حيث كونه تخطيط شجرى أو دائرى أو شبكى، وسيتم مناقشة ذلك بالتفصيل فى الفصل الثانى.

عمل الدراسات الميدانيـة

تعتبر الدراسات الميدانية هى الأساس فى بدء عملية التصميم بالإضافة إلى البيانات التصميمية وتشمل الدراسات عمل الآتى:

- عمل خرائط تفصيلية موقع عليها جميع المنشآت والطرق.
- عمل خرائط كنتورية لتحديد المناطق المنخفضة والمرتفعة فى منطقة الدراسة.
- توقيع المصدر الرئيسى للشبكة وكذلك مواقع الخزانات.
- عمل جسات على المسار لتصميم الأساسات.
- تحديد أماكن العدايات سواء للسكة الحديد أو الطرق أو المجارى المائية وخلافه.

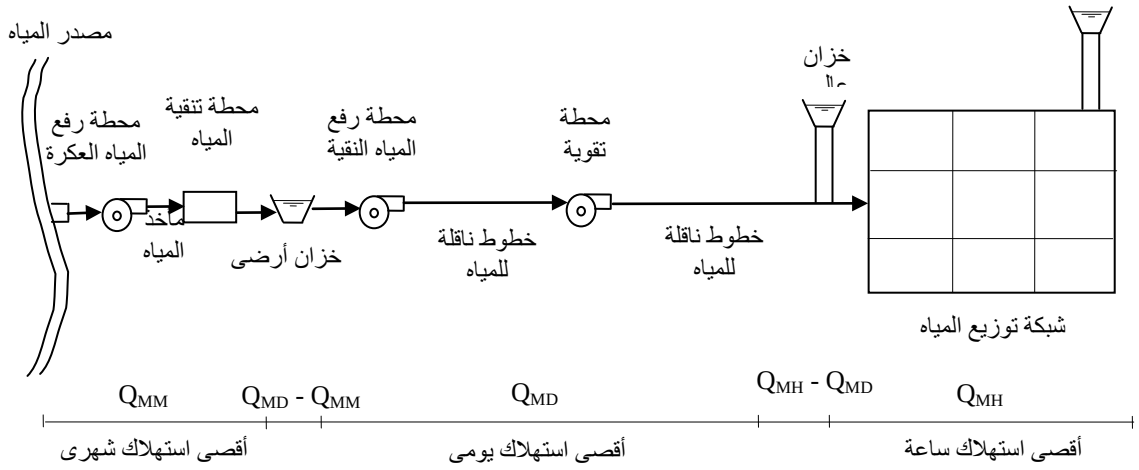
2	الفصل الثانى

تخطيط شبكات توزيع مياه الشرب

مقدمـة

تشمل أعمال توزيع مياه الشرب الوحدات الرئيسية التالية:

1. محطات طلمبات ضخ المياه النقية (الضغط العالى).
2. شبكات توزيع مياه الشرب.
3. منشآت التخزين الأرضية والعالية.



متطلبات الأمان فى توزيع أعمال توزيع المياه

يمكن تلخيص أهم متطلبات الأمان فى أعمال توزيع مياه الشرب فى النقاط التالية:

1. يجب أن تفى كميات المياه التى تنقلها الشبكة بكافة الاحتياجات المائية المطلوبة فى أى وقت.
2. يجب أن يكون ضغط التشغيل بشبكة التوزيع كافياً لتوصيل المياه إلى أبعد وأعلى مكان بالمدينة أو التجمع السكنى.
3. يمكن التحكم فى سريان المياه خلال شبكة التوزيع باستخدام محابس القفل.
4. يجب أن تكون شبكة المواسير آمنة على نوعية المياه النقية وأن لا تتفاعل معها أو تسمح بتلوثها.
5. ينبغى أن تكون مواد الصنع للمنشآت والشبكات والأجزاء الميكانيكية والكهربائية من مواد متينة تتحمل التشغيل المستمر وتقاوم التآكل من الداخل والخارج.
6. من الضرورى أن تخلو شبكة التوزيع من النهايات الميتة.
7. ينبغى ألا يتعارض أى جزء من أعمال التوزيع من الخدمات والمرافق الأخرى.
8. يجب حماية جميع أعمال التوزيع من التلوث من الخارج أو الداخل.

النظم الهندسية للتغذية بمياه الشرب

يمكن تقسيم النظم الهندسية للتغذية بمياه الشرب :

1. التغذية بالجاذبيـة.

2. التغذية بالضغط.

3. التغذية المشتركة.

1- التغذية بالجاذبيـة

هى التغذية من أعلى وفيها تكون جميع أعمال إنتاج وتنقية وتخزين المياه (فى خزانات أرضية) فى مكان مرتفع عن منسوب المدينة أو التجمع السكنى. ويسمح هذا الوضع بتغذية المدينة بالضغط الكافى والناتج من الفارق الاستاتيكى، ويمتاز هذا النظام بعدم وجود محطات (ضغط)، أو منشآت تخزين عالية، أى أنه نظام اقتصادى مريح.

2- التغذية بالضغط

هى التغذية من نفس المستوى أو أقل، بواسطة محطة ضخ تعمل طوال الوقت وفيها تكون جميع أعمال إنتاج وتنقية وتخزين المياه (فى خزانات أرضية) هى فى مكان ذى منسوب يعادل منسوب التجمع السكنى أو المدينة أو يقل عنه، كما تخلو شبكة التوزيع من منشآت التخزين العالية، ولذلك تستخدم محطة ضخ (طلمبات) توضع بجوار أعمال التنقية وتعمل طوال الوقت، وبتصرفات مختلفة، لتلبى كافة الاحتياجات المائية.

3- التغذية المشـتركة

هى التغذية من نفس المستوى أو أقل، بواسطة محطة ضخ ومنشآت تخزين عالية ونجد فى هذا النظام الثالث للتغذية بمياه الشرب أن جميع أعمال إنتاج المياه وتنقيتها وكذلك تخزينها فى خزانات أرضية هى فى مكان ذى منسوب يعادل منسوب المدينة أو يقل عنه، وتتواجد فى شبكة التوزيع منشآت تخزين عالية مما يتيح الفرصة لأن

تعمل محطة طلمبات ضخ المياه النقية بعض الوقت، بتصرف ثابت، بينما تنتج منشآت التخزين العالى فرصة تعويض كميات المياه أثناء ساعات الذروة على أن يتم ملؤها أثناء ساعات الليل.

شبكة توزيع المياه

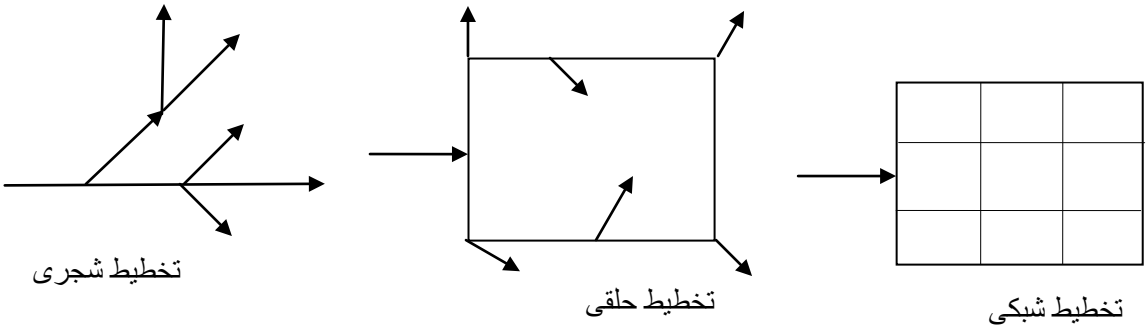
يقصد بشبكة التوزيع خطوط المواسير الرئيسية الممتدة من محطة تنقية المياه أو من محطة ضخ المياه إلى شبكة التوزيع الفرعية فى جميع مناطق التجمعات العمرانية المختلفة (مدن/قرى/عزب/نجوع)، وتستخدم شبكة توزيع المياه فى تغذية جميع أنحاء التجمعات السكنية بالمياه الصالحة للاستخدام المنزلية والصناعية ومقاومة الحرائق، وذلك وفقا للمعدلات المطلوبة وتحت الضغط المناسب، مع الأخذ فى الاعتبار الحماية الكافية للشبكة لضمان عدم تلوث المياه وضمان نظافة الشبكة.

وتشمل شبكة التغذية المواسير، وجميع مايلزمها من قطع خاصة، ومحابس مختلفة، وحنفيات حريق وري، بالإضافة إلى الأعمال الإنشائية والتكميلية اللازمة لحمايتها وضمان سهولة تشغيلها وصيانتها مثل غرف المحابس، والعدايات والدعامات الخرسانية للأكواع والمشتركات..إلخ، وفى الغالب، تتبع خطوط المواسير فى إنشائها شكل سطح الأرض.

وتعتبر أعمال توزيع المياه واحدة من أهم الأعمال الإنشائية الرئيسية وأكثرها تكلفة فى عملية الإمداد بالمياه، حيث تتعرض المواسير على اختلاف أنواعها إلى اجهادات وتأثيرات متنوعة، سواء من التربة المحيطة بها أو بسبب التغير فى درجات الحرارة، أو الصدمات التى تحدث أثناء النقل والتركيب.

تخطيط شبكة التوزيع

عند تخطيط شبكة التوزيع، تستخدم إحدى الطرق الأربعة الآتية، التخطيط الشجرى، أو الدائرى، أو الشبكى.



أ) التخطيط الشـجرى

فى نظام التخطيط الشجرى (Tree System)، يمتد الخط الرئيسى من محطة الطلمبات إلى وسط القرية أو المدينة ويقل قطره كلما بعد عن المحطة، وتتفرع من هذا الخط أفرع أخرى إلى داخل الشوارع المتفرعة من الشارع الرئيسى، لتوزيع المياه، ومع أن هذا الأسلوب فى التخطيط يعتبر أرخص الطرق للتخطيط إلا أنه أقل استعمالا لوجود نهايات غير متصلة (ميتة Dead Ends) كثيرة، بالإضافة إلى تعرض مناطق كثيرة للحرمان من المياه فى حالة قفل خطوط المياه بسبب الإصلاح والصيانة، أو نتيجة حدوث كسر فى الخط الرئيسى، ويمكن استخدام هذا النظام فى القرى والتجمعات الصغيرة.

ب) التخطيط الدائرى (الحلقى)

يعتبر التخطيط الدائرة (Circle System) تطويراً لنظام التخطيط الشجرى، مع توصيل نهايات الخطوط الرئيسية حول المدينة أو المنطقة حيث يمر الخط الرئيسى فى شارع يحيط بالمناطق القديمة، لتكوين دائرة أو حزام مقفل تتفرع منه خطوط فرعية فى الشوارع الجانبية، وذلك حسب تخطيط مسارات خطوط التوزيع
ويستعمل هذا النظام فى تغذية القرى والمناطق الريفية، ويمتاز هذا النظام عن النظام السابق بقلة النهايات غير المتصلة، بالإضافة إلى عدم حرمان أى منطقة من الماء بسبب أى كسر بعيداً عن المنطقة، نظراً للتغذية من أكثر من أتجاه.

ج) التخطيط الشبكى

يفضل استخدام التخطيط الشبكى (Gridiron System) فى المدن السكنية، ويتكون هذا النوع من الشبكات من خط دائرى رئيسى يحيط بالمدينة أو المنطقة على هيئة حزام، بالإضافة إلى خطوط شبه رئيسية أخرى (ثانوية) تخترق الشوارع الرئيسية على ألا تزيد المسافة بين أى ماسورتين رئيستين عن كيلومتر واحد على أن تمتد بينهما خطوط فرعية للتوزيع، ويضمن هذا النوع وصول المياه إلى أى منطقة من اتجاهين، كما يجعل المياه دائمة الحركة حيث تمر من جهة إلى أخرى ثم بالعكس طبقا للسحب والضغط فى جهتى الخط.

وهذه الطريقة، وإن كانت عالية التكاليف، إلا أنها تعتبر أفضل من الطرق السابقة نظراً لضمان الإمداد بالمياه دون توقف أو انقطاع، وضمان ملائمة توزيع الضغوط بالإضافة إلى مقاومة الحريق.

وعموما فإن نظام توزيع ونقل المياه لأى مدينة يمكن أن يجمع بين أكثر من نظام حسب تخطيط المدينة أو التجمع العمرانى. ويوضح الجدول التالى مقارنة بين الأنظمة المختلفة.

مقارنة بين أنظمة تخطيط شبكات المياه

عناصر المقارنة	الشجرى	الدائرى	الشبكى
التكلفة	قليلة	متوسطة	عالية
النهايات الميتة	كثيرة	متوسطة	لا توجد
نطاق تأثير كسر أحد المواسير	كبير	متوسط	محدود
جودة المياه	ضعيفة	متوسطة	عالية
ضغوط المياه	منخفضة	متوسطة	عالية

3	الفصل الثالث

منشآت تخزين مياه الشرب

الغرض من منشآت تخزين مياه الشرب

يتم الاحتفاظ بطاقة تخزينية من مياه الشرب بعد تنقيتها فى محطة التنقية، وفى بعض الأماكن المتفرقة من التجمعات السكنية أو المدن (على الشبكة) وتكون معدة لتوزيع المياه، وذلك للأغراض الأساسية الآتية:

أ) موزانة التغير فى سحب المياه خلال ساعات اليوم الواحد.

ب) تشغيل محطات ضخ المياه بشكل اقتصادى ومنتظم، إما بمعدل ثابت أو متغير، لفترة أو فترتين على الأكثر خلال اليوم الواحد.

ج) توفير كمية احتياطية من الماء النقى (مياه الشرب) لمواجهة أى طارئ مثل:

- عدم استمرارية تشغيل محطة التنقية طوال الـ 24 ساعة.
- عدم استمرارية تشغيل محطات الضخ لمدة 24 ساعة حيث أنها تعمل غالبا فى القرى أو فى المدن الجديدة لمدة محدودة (12-16 ساعة فى اليوم، أى تتم التغذية بمياه الشرب على فترات متقطعة).
- حدوث كسر فى خط المياه الرئيسى الناقل للمياه.
- حدوث أى عطل فى وحدات محطة التنقية أو الضخ لفترة قصيرة.
- مواجهة حدوث حرائق بالتجمع السكنى.

د) تحقيق السيطرة وانتظام الضغوط فى الشبكة.

ه-) المساهمة فى خفض السعة الإنتاجية لمحطة التنقية، مما يساعد على الاقتصاد فى الاستثمارات وفى الطاقة الكهربائية.

و) إتاحة فرصة تفاعل مادة التعقيم (الكلور) لإزالة التلوث قبل ضخ المياه للاستهلاك (يتم ذلك فى الخزان الأرضى).

أنـوع الخزانات

تستخدم الخزانات الأرضية أو الخزانات العالية، وتكلفة إنشاء النوع الأول أقل من تكلفة إنشاء النوع الثانى فى حالة التساوى فى السعة، بالإضافة إلى أن طاقته التخزينية أكبر، إلا أن الخزانات العالية تعمل على تنظيم الضغوط فى شبكة التوزيع.

الخزان الأرضـى

الغرض من الخزان الأرضى أو خزان المياه المرشحة هو استقبال المياه بعد خروجها من المرشحات، وتغذية محطات الضغط العالى التى تدفعها فى شبكات التوزيع، ويبنى هذا الخزان عادة تحت سطح الأرض بالقرب من مبنى المرشحات، على أن تكون سعته كافية لاستيعاب تصرف المدينة لمدة 6-8 ساعات، وفى هذه الحالة يعتبر الجزء المجاور لدخول المياه كخزان تلامس بين المادة المعقمة والمياه لإتمام عمليات التعقيم، وتتراوح هذه المدة بين 20-30 دقيقة، وقد تبنى خزانات المياه الأرضية تحت المرشحات مباشرة، إلا أنه لا يفضل ذلك نظراً للصعوبات الإنشائية التى تعترض التنفيذ ويكتفى بتخزين مياه غسيل المرشحات فقط، وقد تبنى الخزانات فوق سطح الأرض فى المناطق المرتفعة الموجودة بالتجمعات السكنية أو القريبة منها للاستفادة من فوق المنسوب الاستاتيكى.

ويبنى الخزان بحيث تتدفق المياه فيه بانتظام فى كامل قطاعه، وذلك ببناء حوائط حائلة توجه المياه من المدخل إلى المخرج وتحول دون وجود مناطق تركد فيها المياه، وتبنى الخزانات غالبا من الخرسانة المسلحة، وتستخدم الحوائط الحائلة كدعامات للسقف والأرضية، ويزود السقف بفتحات للتهوية تغطى بسلك ذو عيون دقيقة أو بغطاء من الألومنيوم له شكل معين، بحيث يسمح بمرور الهواء أثناء عمليات الملء والتفريغ ويمنع دخول الأتربة والحشرات، وتكسى الحوائط والأرضية بطبقة عازلة من مونة أسمنت المخلوطة بمادة تمنع نفاذ المياه أو بأى مادة عازلة أخرى، وينحدر القاع إلى مواسير الصرف لإمكان تنظيف الخزان على فترات زمنية لضمان سلامة المياه، كما يفضل أن تمر المياه عند دخولها إلى الخزان على هدار أو حائط حائل، وبذلك يمكن تفريغ الخزان إلى منسوب الهدار فقط، فى حالة إصلاح ماسورة أو محبس المدخل، أما ماسورة المخرج فتوضع على ارتفاع 25سم من القاع، كما هو مبين فى الشكل رقم (3-1)، بينما توضع ماسورة الغسيل على القاع مباشرة، حتى يمكن تفريغ الخزان منها، أو تستخدم طلمبة غاطسة متحركة لتفريغ مياه الغسيل، وهى غير موضحة بالشكل.

الخزان العالـى

وهو من الوحدات الهامة فى أعمال توزيع المياه، ونادراً ما تخلوا أى مدينة من خزان عال أو أكثر، ويبنى من الخرسانة المسلحة ويستخدم أساسا فى حفظ ضغط كاف فى شبكة التوزيع، ولتخزين المياه فى حالة معدلات الاستهلاك المنخفضة من أجل استخدامها فى حالة معدلات الاستهلاك الكبيرة (للموازنة)، ولإطفاء الحرائق، ويتم تحديد سعة الخزان حسب الغرض من استخدامه (للموازنة أو للتخزين)، كما هو موضح بالشكل رقم (3-2).

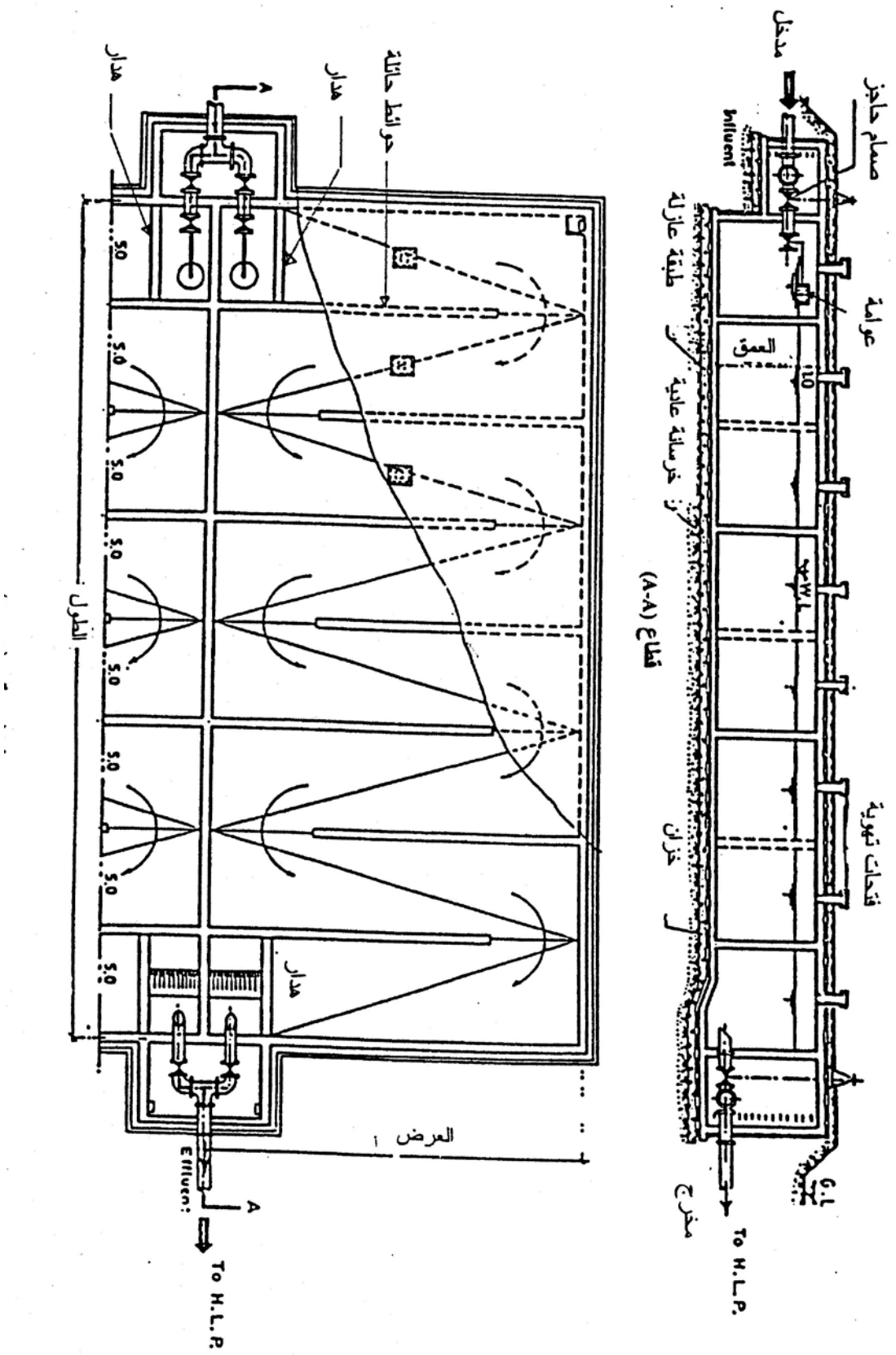
ويتصل الخزان العالى بشبكة التوزيع بواسطة ماسورة رأسية لتغذيته بالمياه وكذلك لتغذية شبكة التوزيع بالماء منه، وهناك نوعان من الخزانات العالية هما:

- الخزان الأنبوبى (Standpipe Tank).
- خزان الموازنة العالى (Elevated Tank).

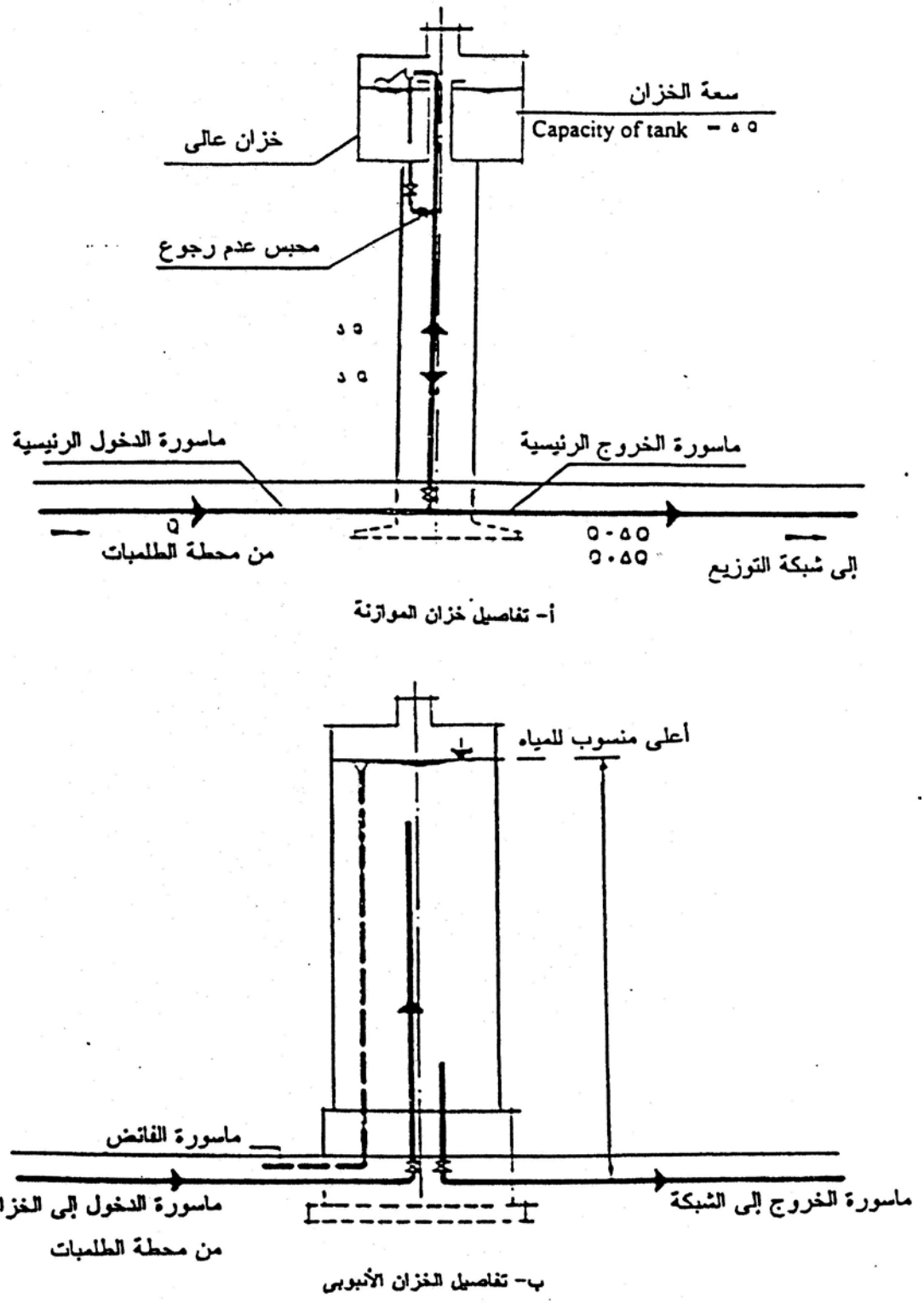
أ) الخزان الأنبوبى

هو عبارة عن وعاء اسطوانى من ألواح الصلب أو الخرسانة المسلحة، ذو قاع مستو ويستقر على أساس من الخرسانة المسلحة، ويستخدم الخزان فى الاحتفاظ بالمياه من منسوب سطح الأرض إلى أعلى الخزان، (أى أن جميع حجمه مملوء بالمياه).

ويعمل هذا الخزان على زيادة الضغط فى الشبكة عن طريق توفير كمية تخزين إضافية فوق المنسوب المطلوب لتوفير الضغط المطلوب للشبكة أما المياه المتبقية أسفل هذا المنسوب، فتستخدم ككمية إضافية للتخزين يمكن استعمالها مع طلمبات رفع مساعدة فى مكافحة الحرائق، وذلك عند استخدام عربات الإطفاء.



شكل رقم (3-1): تفاصيل خزان مياه أرضى



شكل رقم (3-2): أنواع الخزانات العالية (أنبوبى – موازنة عالى)

ويزود الخزان بماسورة تغذية، وماسورة خروج لتغذية التجمع السكنى تكون على منسوب منخفض مناسب للاستفادة من كمية التخزين، هذا بالإضافة إلى ماسورة لتصفية وتنظيف الخزان، وماسورة للفائض، وتزود المواسير بالمحابس والقطع الخاصة اللازمة للتركيب والتشغيل الآمن.

ويتم إنشاء هذه الخزانات عادة من الصلب أو الخرسانة المسلحة، وتمتاز الخزانات المنشأة من الألواح الصلب بالآتى:

- سرعة الإنشاء والتركيب.
- إمكانية إنشائها بارتفاعات عالية.
- سهولة منع التسرب عند حدوثه.
- قلة تكاليف إنشائها الأولية نسبياً.
- قلة مساحة الأرض المطلوبة للإنشاء.

هذا، مع ملاحظة أن معدل زيادة تكاليف إنشاء هذا النوع من الخزانات يزداد كلما زاد ارتفاعها نظراً لضرورة تحقيق متانة الجدران، بحيث تكون بالسمك الكافى لحمايتها ضد الاجهادات الناتجة عن الرياح ووزن الماء والتى تتناسب مع قيمة مربع الارتفاع، ولذلك فهى تفضل فى حالات صغر كمية المياه المطلوب تخزينها.

أما مميزات وعيوب الخزانات المبنية بالخرسانة المسلحة، فيمكن تلخيصها فيمايلى:

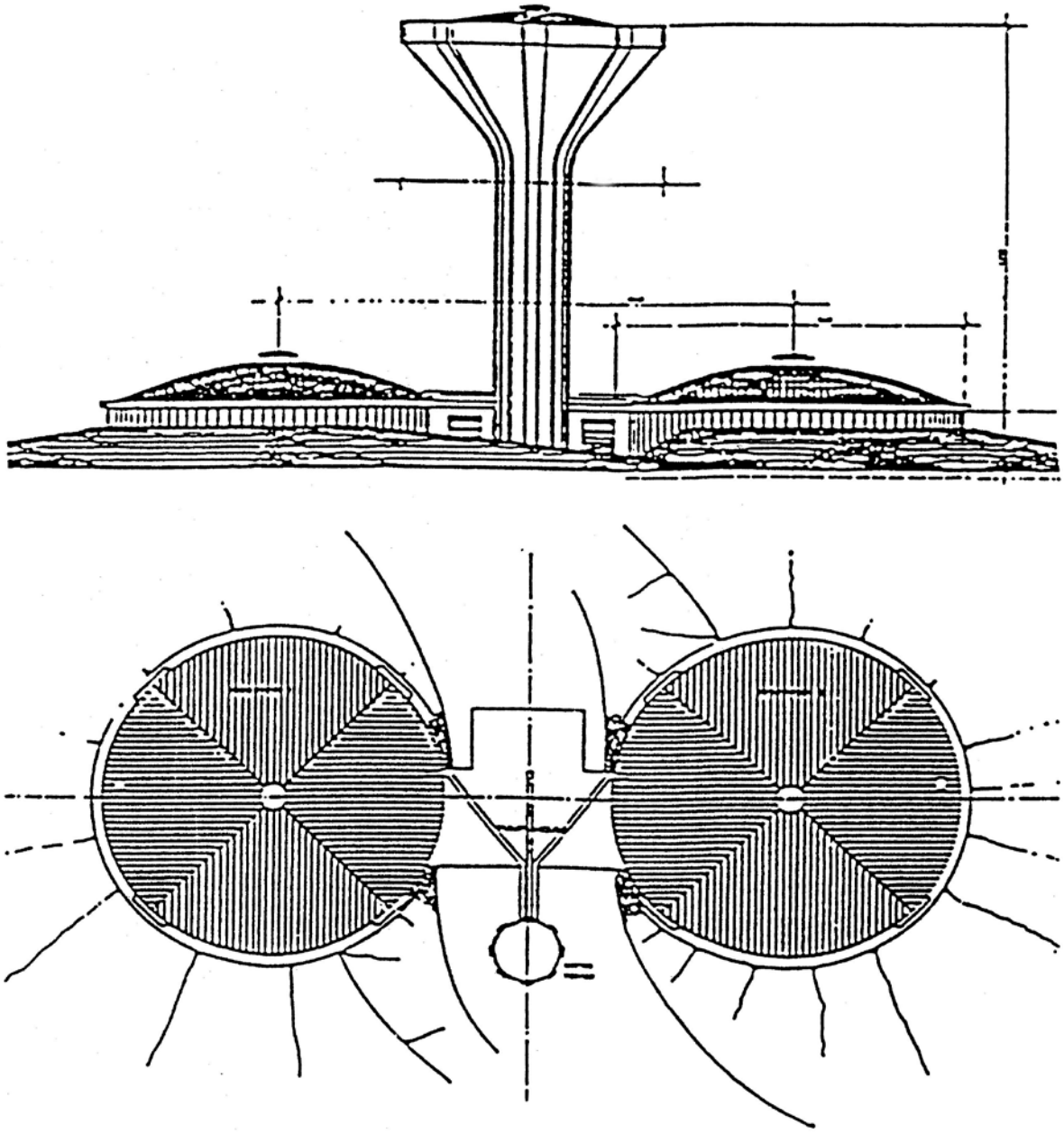
- قلة تكاليف الصيانة فى حالة إنشائها بعناية.
- طول مدة الإنشـاء.
- عدم ارتفاع تكاليف تحسين مظهرها بالأساليب المعمارية.
- كبر مساحة الأرض المطلوبة للإنشاء.

إلا أنه يجب مراعاة إنشاء هذه الخزانات من الخرسانة المسلحة غير المنفذة للمياه، وذلك للضغوط الأقل من 15 متراً، حيث أنه من الصعب تنفيذها لتحمل ضغط أكبر إلا بمواصفات وأساليب إنشاء مكلفة.

ب) خزان الموازنة العالى

وهو مرتفع عن سطح الأرض، وهو منشأ من الخرسانة المسلحة، على أعمدة أو محور اسطوانى لإضفاء جمال على المنظر المعمارى.

ويبين الشكل رقم (3-3) بعض الأشكال المعمارية المختلفة لتلك الخزانات التى تستخدم أساسا لتوفير ضغط مناسب فى شبكة التوزيع، يسمح بالإمدادات العمرانية الجديدة بالإضافة إلى توفير كمية من المياه المخزونة لموازنة معدلات الاستهلاك مع الإنتاج.



شكل رقم (3-3): الأشكال المعمارية للخزانات العالية

ويعتبر الخزان العالىأرخص من الخزان الأنبوبى لكل وحدة حجوم من السعة التخزينية، كما أنه يفى بمتطلبات الضغط التى تستلزم وجود ضغط مناسب خاصة فى حالة وجود مبان مرتفعة فى منطقة الخدمة.

وتكون ماسورة المياه المغذية للخزان العالى عادة هى نفسها الماسورة المغذية للشبكة من الخزان، أى أنها صاعدة وهابطة فى آن واحد، ويزود الخزان العالى بالصمامات (المحابس) والوصلات التالية:

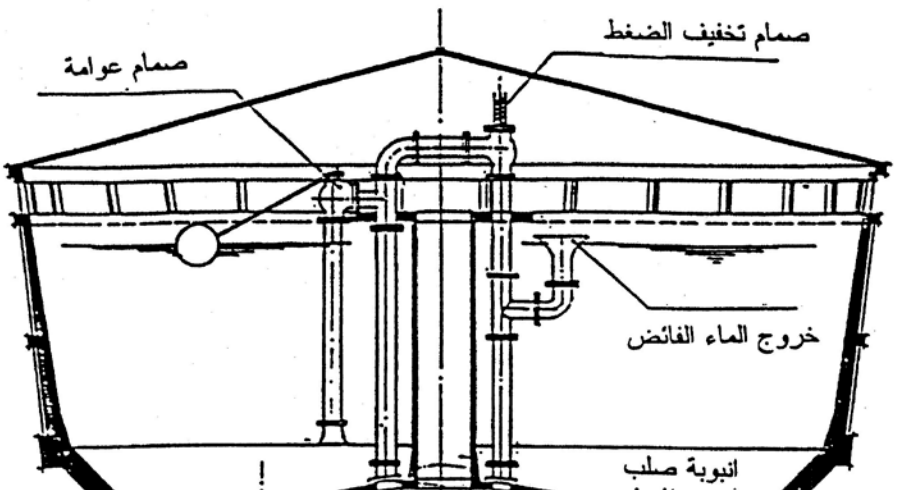
- صمام حجز (تحكم) Sluice Valve فى أسفل الماسورة، يقفل عندما يراد حجز الماء عن حلة التخزين للتنظيف أو الإصلاح.
- صمام عوامة (Float Vlave) أعلى الماسورة، حيث تدخل المياه إلى الحلة (حيز التخزين) عندما يزيد معدل ضخ الطلمبات عن معدل استهلاك الماء فى المدينة، والغرض من هذا الصمام هو تنظيم دخول الماء بحيث يقفل الصمام تماما إذا ما وصل الماء فى الحوض إلى منسوب معين، ويجب أن يكون صمام العوامة من النوع كبير الحجم والغير قابل للصدأ.
- صمام عدم رجوع (Non-Return Valve) مركب على فرع ما بين الماسورة الرأسية وقاع الخزان، ويسمح هذا الصمام بخروج الماء من الحوض إلى الماسورة الرأسية (وليس بالعكس) عندما يزيد معدل استهلاك الماء عن معدل ضخ الطلمبات.
- صمام حجز مركب على نفس الفرع ويقفل عندما يراد إيقاف صرف الماء من الحلة إلى شبكة التوزيع عن طريق الماسورة الراسية، كما هو الحال عند غسيل الحلة بعد إصلاحها.

كما يتصل الخزان، عن طريق ماسورة رأسية أخرى تسمى ماسورة الفائض والغسيل، بشبكة الصرف (Sewerage System) فى المدينة اتصالاً غير مباشر، ويجب أن تكون ماسورة الخروج أعلى من ماسورة الصرف بمقدار 1.0 متر على الأقل، أى يكون تساقط المياه عند الخروج تساقط حر لإمكان صرف المياه من الحوض بعد غسيله، ويركب على هذه الماسورة مايلى:

- هدار خروج الماء الفائض، والغرض من خروج المياه الزائدة عن منسوب معين عند حدوث خلل فى صمام العوامة السابق ذكره وعدم حدوث فيضان للخزان، وهذا الهدار موجود فى أعلى الماسورة.

- صمام حجز مركب على فرع ما بين ماسورة الفائض والغسيل وقاع الخزان، وهذا الصمام يظل مغلقا ما دام الخزان العالى مستعملا، ويفتح فقط لصرف الماء من الحلة عند غسيلها.

- كما تتصل الماسورتان الرأسيتان: ماسورة التغذية وماسورة الفائض والغسيل بواسطة فرع أفقى مركب عليه صمام أمان يفتح آليا إذا زاد الضغط فى الماسورة الرأسية المغذية عن حد معلوم (حوالى ضغط عشرة أمتار زيادة عن منسوب الماء فى الخزان) نتيجة حدوث مطرقة مائية أو تشغيل الطلمبات فجأة، وكلتا الماسورتين الرأسيتين وفروعهما من الصلب، ووصلاتهما من نوع المواسير ذات الشفة المربوطة بمسامير، ولما كانت هاتان الماسورتان مكشوفتين ومعرضتين للتقلبات الجوية، فإنه يجب تركيب وصلة تمدد على كل منهما لمقاومة الاجهادات الناتجة عن اختلاف درجات الحرارة من وقت لآخر (شكل رقم 3-4).



شكل رقم (3-4): تفاصيل وصلات المواسير والمحابس للخزان الأرضى

سعة التخزين

يتم تحديد السعة التخزينية بغرض الموازنة خلال دورة الملء والتفريغ وذلك على أساس:

- الفرق بين أعلى وأقل احتياج (التغير فى الاستهلاك).
- التخزين الاحتياطى المطلوب لإطفاء الحرائق.
- سعة الضخ الاحتياطى.

ويتم التخزين عادة باستخدام الخزانات الأرضية والعلوية معا بحيث يغطى كل منهما جزءاً من التخزين الكلى المطلوب.

سعة التخزين الأرضى

يتم حساب حجم التخزين الأرضى بحيث يفى بالاحتياجات التالية:

- الفرق بين أقصى استهلاك يومى وأقصى استهلاك شهرى (التصرف التصميمى).
- حجم تخزين للطوارئ من أربع إلى عشر ساعات من الإنتاج اليومى.
- الزمن اللازم للتلامس بين الكلور والماء للتعقيم (30 دقيقة).

وتضاف كمية التخزين لمياه مكافحة الحريق إلى أكبر كمية من الثلاث كميات الأخرى.

وطبقا للمواصفات المصرية، فإن كمية الحريق يمكن تقديرها على أساس احتياج 60 متر مكعب/ساعة للحريق الواحد وزمن الحريق لمدة ساعتين، وذلك لكل 10000نسمة.

إذن كمية المياه المطلوبة للحريق =

$$\frac{\textbf{60 م}^3\textbf{/ساعة} \times \textbf{2 ساعة} \times \textbf{عدد السكان (نسمة)}}{\textbf{10000 (نسمة)}} \quad \textbf{متر}^3$$

سعة التخزين العلوى

فى المناطق الصغيرة التى لا يتجاوز تعدادها مائة ألف شخص، يبنى الخزان العلوى بحيث تكون سعته تساوى احتياجات المدينة لمدية تتراوح بين 8-10 ساعات، وهو الوقت الذى قد تتوقف فيه محطة الطلمبات عن الضخ يوميا عند تشغيلها فترة النهار فقط وإيقافها فى المساء.

أما فى المناطق الكبيرة، التى يتراوح تعدادها ما بين مائة ألف شخص ونصف مليون شخص، فيكتفى بأن تكون سعة الخزان مساوية لاحتياجات المدينة مدة تتراوح بين ساعتين وأربع ساعات، وذلك نظراً لتشغيل محطة الطلمبات ومحطة التنقية 24 ساعة يوميا فى مثل هذه المناطق.

أما فى المناطق الأكبر من ذلك، والتى يتعدى تعدادها مليون شخص، فقد يستغنى كلية عن الخزان العلوى إذا توافرت قوة احتياطية من الطلمبات فى محطة الضغط العالى يمكنها أن تفى باحتياجات المدينة القصوى فى أى وقت، أى أن الطلمبات لن يتم تشغيلها بأقصى طاقتها إلا فى فترات قليلة طوال العام، ولذلك فإن مثل هذا النظام يعتبر أكثر تكلفة من المشروعات التى تشمل إنشاء خزانات المياه العالية، مما يجعله غير متبع فى كثير من الأحوال، وإن كان يفضل إنشاء خزان عالى أو أكثر ليفى باحتياجات المياه اللازمة لمكافحة الحريق وللطوارئ.

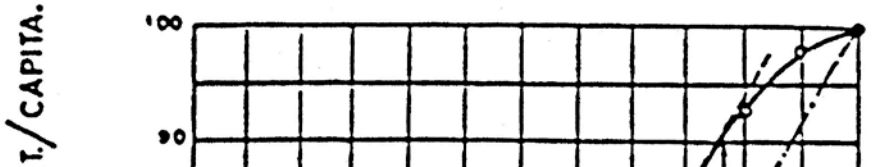
ولحساب سعة الخزان بدقة، لابد من دراسة معدل استهلاك المدينة للمياه والتغييرات التى تحدث فيه من ساعة إلى ساعة فى نفس اليوم، ورسم منحنى تجميعى (Mass Curve) لهذا المعدل، كما يرسم على نفس الشكل المنحنى التجميعى لضخ الطلمبات، فإذا كان معدل الضخ منتظما، كان المنحنى التجميعى للضخ عبارة عن خط مستقيم (شكل رقم 3-5)، أما إذا كانت الطلمبات تعمل لساعات محدودة كل يوم، يكون المنحنى التجميعى للضخ عبارة عن خط مستقيم

أيضا ويجب ملاحظة أن مجموع الاستهلاك الكلى للمياه لابد أن يكون مساويا للضخ الكلى للطلمبات سواء كان الضخ منتظما أو غير منتظم.

وفى حالة انتظام معدل الضخ يرسم خطان مماسان للمنحنى التجميعى للاستهلاك موازيين للخط التجميعى للضخ، وبذلك تكون المسافة الرأسية بين المماسين مساوية للسعة اللازمة للخزان العلوى كما هو موضح بالشكلين السابقين.

أما فى حالة عدم انتظام معدل الضخ فى اليوم، فإن مجموع أكبر بعدين رأسيين بين المنحنى التجميعى للضخ والاستهلاك (أحدهما واقع فوق منحنى الاستهلاك والآخر تحته يكون مساويا لسعة الخزان) (شكل رقم 3-6) وفى حالة الاستغناء عن التخزين العالى يلزم تشغيل الطلمبات طوال الوقت وبمعدلات متغيرة طبقا للاحتياج الفعلى، ولا يفضل اتباع هذه الطريقة لصعوبة التطبيق.

ويضاف إلى كمية التخزين السابق حسابها كمية لا تقل عن 20% من كمية المياه المطلوبة، وذلك لإطفاء الحرائق بحيث تكون متاحة للاستعمال الفورى عند الحاجة إليها.



شكل رقم (3-5): تحديد سعة التخزين فى حالة تشغيل الطلمبات بمعدل ثابت طوال اليوم

إختيار موقع الخزان العالى

عند تحديد موقع بناء الخزان العالى توجد عدة اختيارات لكل منها مميزاته وعيوبه، كما يوجد خيار بناء عدة خزانات للمدينة الواحدة وذلك على النحو التالى:

- أن يكون الموقع بالقرب من محطة الطلمبات، إلا أن عيب هذا الاختيار يمتثل فى ارتفاع الضغط فى شبكة المواسير باستمرار بالقرب من الخزان، وانخفاض الضغط باستمرار فى الجانب الآخر من المدينة، الآمر الذى قد يستدعى إنشاء محطة ضغط مساعدة (Booster).
- أن يكون الموقع فى الجانب الآخر للمدينة بالنسبة لمحطة الطلمبات، ويمتاز بإمكانية إمداد المدينة بالمياه من جانبيها عند زيادة الاستهلاك، إلا أن الضغط فى المواسير بالقرب من محطة الطلمبات يكون متغيرا تغيرا كبيراً، فيكون أقصاه عند عمل الطلمبات ويكون أدناه عند توقف الطلمبات وإمداد المدينة بأكملها من الخزان العلوى.
- أن يكون فى موقع متوسط بالنسبة للمدينة، ويمتاز هذا الاختيار بحفظ ضغط يكاد يكون ثابتا فى مواسير المدينة إلى فى الجزء الواقع ما بين محطة الطلمبات والخزان العلوى.
- بناء أكثر من خزان علوى فى المدينة، وهذا يستدعى دراسة أعمق لتوزيع استهلاك المياه فى المناطق المختلفة للمدينة، ودراسة ارتفاع هذه الخزانات وطريق توصيلها مع بعضها وطريقة رفع المياه إلى كل منها، ونتيجة لهذه الدراسات تتبع إحدى الطريقتين الآتيتين:

أ - إنشاء خزان علوى رئيسى بالقرب من محطة الطلمبات، على أن تقسم المدينة إلى مناطق لكل منها خزان علوى فرعى يستمد مياه من ماسورة رئيسية من الخزان العلوى الرئيسى مباشرة أو من خزان علوى فرعى

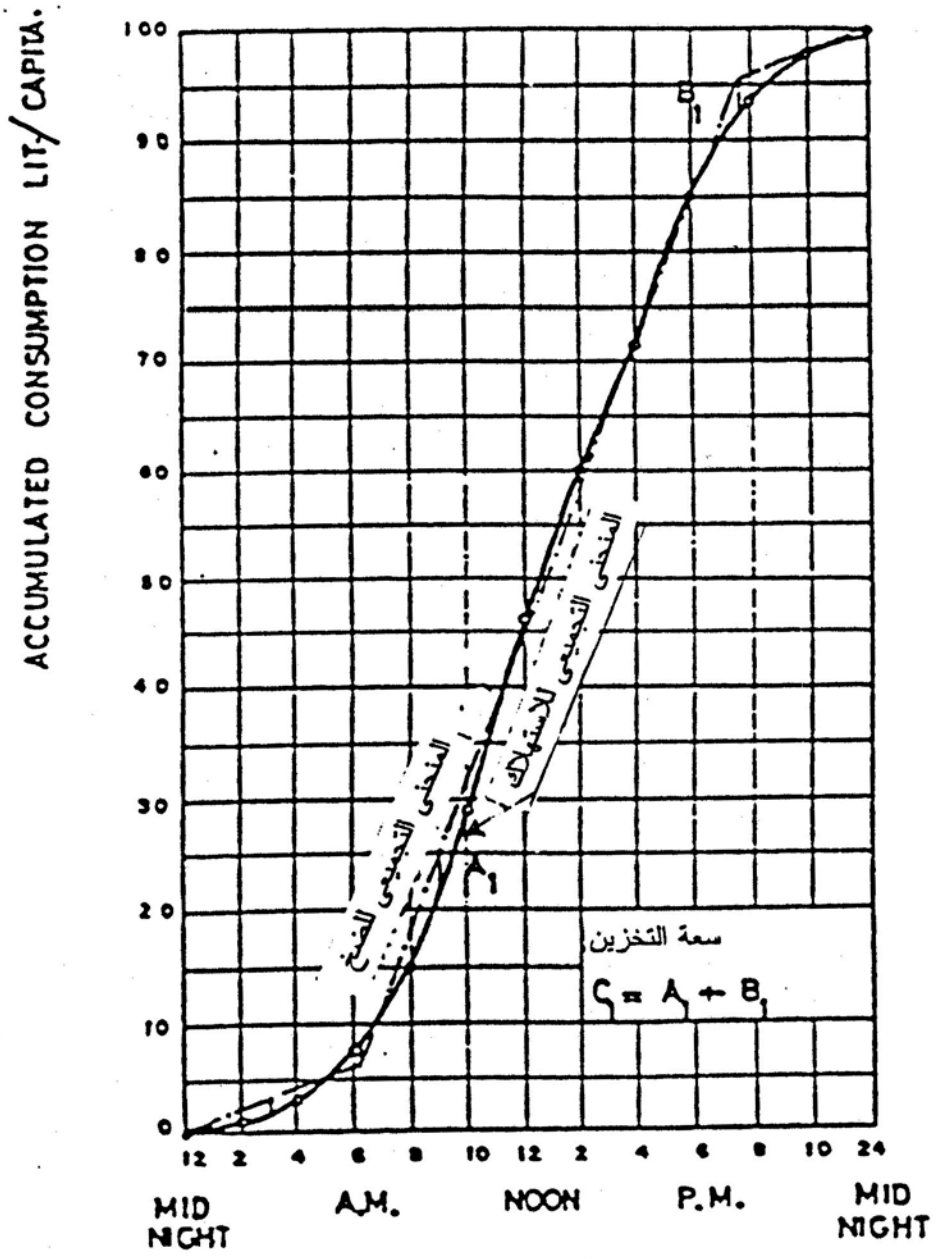
مجاور، ويعب هذه الطريقة تعرض الأجزاء الأولى لشبكة التوزيع القريبة من الخزان العلوى الرئيسى لضغوط عالية، مما يستدعى استخدام مواسير مرتفعة الثمن تتحمل هذه الضغوط.

ب- إنشاء مجموعة من الخزانات العلوية المستقلة عن بعضها، على أن تنشأ بجوار كل خزان محطة طلمبات تسحب المياه من ماسورة المياه الرئيسية وترفعها إلى الخزان العالى المجاور لها، ومن ثم تخرج المياه من الخزان لتغذية شبكة التوزيع بالمنطقة المحيطة به، ويعيب هذه الطريقة مايلى:

- لا تستخدم الماسورة الرئيسية لتوزيع المياه فى المناطق مباشرة، بل تستخدم فقط لتغذية الخزانات.
- كثرة محطات طلمبات الرفع المساعدة التى يصل مجموع قوتها إلى مايزيد عن قوة المحطة الرئيسية للرفع.
- ضرورة تواجد طاقة محركة لمحطة طلمبات الضخ فى موقع الخزانات.

إلا أنها تتميز بالمزايا الآتية:

- تساوى ارتفاع الخزانات.
- الضغط فى جميع أنحاء الشبكة.
- استعمال مواسير تتحمل ضغوطاً خفيفة نتيجة لعدم تعرض شبكة التوزيع لضغط عال.



شكل رقم (3-6): تحديد سعة التخزين فى حالة تشغيل الطلمبات طوال اليوم بمعدل متغير

4	الفصل الرابع

محطات طلمبات الضغط العالـــى

التصرف التصميمى لمحطة الطلمبات

تقوم طلمبات محطة الضغط العالى برفع المياه من بيارة المياه بمحطة التنقية وضغطها فى المواسير الموزعة فى المدينة على ألا يقل الضغط فى أى نقطة فى شبكة المواسير عن 25 متراً وخاصة فى أطراف المدينة.

ويتوقف التصرف الذى تصمم عليه محطة طلمبات الضغط العالى على العوامل الآتية:

- عدد السكان الذين يخدمهم المشروع.
- متوسط الاستهلاك السنوى (لتر/شخص/يوم).
- التغيرات الموسمية التى تحدث فى هذا المتوسط صيفاً وشتاءاً.
- التغيرات من ساعة إلى ساعة فى نفس اليوم للاستهلاك فى المدينة.
- سعة خزانات المياه العالية.
- ساعات تشغيل محطة الطلمبات نظراً لأن هناك بعض الأحوال التى يفضل فيها تشغيل المحطة ساعات معدودة من اليوم بدلاً من تشغيلها 24 ساعة يومياً.

ومن الناحية النظرية يمكن الاستغناء كلية عن الخزانات العالية، إذا أمكن زيادة أو نقص التصرف الخارج من المحطة كلما تغير معدل استهلاك المياه فى المدينة،

وفى هذه الحالة يجب أن يكون التصرف التصميمى للمحطة يساوى أقصى تصرف للمدينة (Peak Demand Load) مما يجعل عدداً كبيراً من وحدات المحطة عاطلا معظم أيام العام، وهذا لا يتفق مع الجانب الاقتصادى للمشروع.

ويفضل غالباً أن يكون التصرف التصميمى لمحطة الطلمبات هذه مساوياً للتصرف اليومى أثناء فترة الصيف، على أن يؤخذ فى الاعتبار إضافة وحدات رفع احتياطية (Stand by Units) للعمل وقت تعطل بعض الوحدات، على أن يتراوح تصرف هذه الوحدات الاحتياطية ما بين ثلث ونصف تصرف الوحدات الأساسية، ضماناً لاستمرار تشغيل المحطة – على أن تعمل جميع الوحدات طوال العام بالتناوب، وفى هذه الحالة تصمم الخزانات العالية لتقابل التغيرات من ساعة إلى ساعة فى نفس اليوم – فعندما يكون استهلاك المدينة أقل من تصرف محطة الطلمبات، يرتفع جزء من الماء فى الخزانات العالية، حتى إذا ما كان استهلاك المدينة أكبر من تصرف محطة الطلمبات وجدنا رصيداً من المياه فى الخزانات العالية، يخرج منها بالانحدار الطبيعى إلى شبكة التوزيع، ليعوض النقص فى تصرف محطة الطلمبات.

أنواع الطلمبات المستعملة

تستعمل فى محطة الضغط العالى أما طلمبات ماصة كابسة (Displacement Pumps) أو طلمبات طاردة مركزية (Centrifugal Pumps) .

الضغط الذى تعمل ضده الطلمبات:

هذا الضغط يساوى الفرق بين منسوب المياه فى بيارة المياه النقية ومنسوب الطلمبة وهو ما يسمى (Suction Head) مضافاً إليه الضغط الواجب تواجده فى شبكة المياه (hd) وهو ما اتفق على أن يكون كافياً لتوصيل المياه إلى الطابق الرافع فى المنازل (ولا يقل عن 25 متراً) هذا الضغط عبارة عن:

- 14 متر ارتفاع منزل ذو أربعة طوابق.
- 5 متر الفاقد فى عامود الضغط داخل المواسير المنزلية.
- 6 متر عامود الضغط اللازم على الصنابير فى المنزل.
- 25 متر المجموع (ويفضل أن لايقل عن ثلاثين متراً).

يضاف إلى ذلك أيضا الفاقد فى الاحتكاك (hf) فى شبكة التوزيع نتيجة سير المياه من محطة الطلمبات إلى أقصى مكان فى المدينة بالإضافة إلى الفواقد الثانوية فى شبكة التوزيع (hm) أى أن:

$$H = Hs + hd + hm + hr \qquad (1\text{-}4)$$

حيث:

H : الضغط الكلى الذى تعمل به محطة الطلمبات (متر).

hs : الفرق بين منسوب المياه فى البيارة ومنسوب الطلمبات (متر).

Hd : عامود الضغط اللازم فى شبكة المواسير فى أبعد موقع فى المدينة ويساوى كما ذكر أعلاه 25 متراً.

Hr : الفاقد فى الاحتكاك فى شبكة التوزيع (متر).

Hm : الفواقد الثانوية فى شبكة التوزيع (متر).

وبذلك تكون قوة الطلمبات مقدرة بالحصان الميكانيكى.

$$P = \frac{WH}{75} \qquad (2\text{-}4)$$

حيث:

P : قوة الطلمبات بالحصان الميكانيكيى.

W : كتلة الماء المرفوع فى الثانية بالكيلوجرام.

H : الضغط الكلى بالمتر.

موقع الطلمبات بالنسبة لمنسوب المياه فى البيارة

من المستحسن دائما أن تكون الطلمبات فى منسوب أقل من منسوب المياه فى البيارة، لتفادى حدوث ضغط أقل من الضغط الجوى فى ماسورة السحب، إذ أن هذا الضغط الأقل قد يسبب تسرب الهواء داخل الماسورة أو تصاعد الغازات الذائبة فى المياه منها، مما يؤدى إلى تواجد فقاقيع من الهواء قد تتجمع فى الماسورة مسببة اضطراباً فى عنبر الطلمبات ونقصا فى تصرفاتها، على أن تزود كل طلمبة بالصمامات وأجهزة القياس للتصرف والضغط.

ألا أن هناك بعض الأحوال التى يتعذر فيها وضع الطلمبات فى منسوب أقل من منسوب المياه فى البيارة وفى هذه الحالة يجب مراعاة الآتى:

- ماسورة السحب يجب أن تكون مستقيمة ما أمكن.
- ماسورة السحب يجب ألا تحتوى على منحنيات رأسية لاحتمال تجمع الغازات المتسربة إلى الماسورة فى هذه المنحنيات.
- ألا يزيد ارتفاع منسوب الطلمبة عن منسوب المياه فى البيارة عن قيمة Hs كما هى فى المعادلة الآتية:

$$Hs = Ha - (Hv + Vh + Hf + Hm) \quad (3\text{-}4)$$

حيث:

Hs : الفرق بين منسوب الطلمبة ومنسوب البيارة.

Ha : عامود الضغط الجوى بالمتر (10.33 متر).

Hv : عامود ضغط بخار الماء بالمتر.

Vh : طاقة سرعة المياه (Velocity Head) فى ماسورة السحب مقدرة بالمتر.

Hf : الفاقد فى الاحتكام بالمتر (Friction Head).

Hm : الفواقد الثانوية بالمتر (Secondary Losses).

ولهذا فإنه من الواجب ألا يزيد عامود الرفع (Hs) عن ثمانية أمتار بل يفضل ألا يزيد عن ستة أمتار.

القوى المحركة للطلمبات

هناك أكثر من قوة يمكن استخدامها لتحريك الطلمبات:

- ماكينات الديزل.
- المحركات الكهربائية.

وأكثر هذه القوى استعمالا فى الوقت الحاضر هو المحركات الكهربائية، إلا أنه يفضل دائماً أن يكون هناك أكثر من مصدر كهربائى لإدارة هذه المحركات، حتى إذا ما أنقطع التيار الكهربائى من مصدر أمكن الاعتماد على المصدر الثانى لإدارة المحركات.

بل أنه زيادة فى الاحتياط فى بعض عمليات المياه الكبرى – تنشأ وحدة إدارة بالديزل كوحدة محركة احتياطية تعمل عند انقطاع التيار – كل هذا حتى نتأكد من عدم توقف تشغيل محطة تنقية المياه مهما حدث من أعطال.

على أنه يمكن حساب قوى المحرك بالحصان الميكانيكى (M.H.P.) بالمعادلة الآتية:

$$M.H.P. = \frac{Q + H}{75 \times E_1 \times E_2} \qquad (4\text{-}4)$$

حيث:

Q : التصرف باللتر فى الثانية.

H : عامود الرفع الكلى (احتكاك + رفع).

E1 : كفاءة جودة الطلمبة = 60% - 70%.

E2 : كفاءة جودة المحرك = 80% - 90%

المحابس على مداخل ومخارج الطلمبات

للتحكم فى تشغيل الطلمبات يجب أن تزود كل طلمبة بالمحابس الآتية:

- صمام (Foot Valve) ويوضع فى مدخل ماسورة السحب أو الطلمبة عند توقف الطلمبة عن العمل وبذلك لا يحتاج إلى تحضير عند بدء تشغيلها مرة ثانية.
- صمام حجز (Sluic Valve) ويوضع عند مدخل الطلمبة والغرض منه التحكم فى سير المياه، وغلق الماء عن الطلمبة عند إصلاحها.
- صمام عدم رجوع (Non-return Valve) ويوضع على مخرج الطلمبة مباشرة والغرض منه منع سير المياه فى اتجاه عكسى عند توقف الطلمبة عن العمل فجأة نتيجة توقف التيار الكهربائى مثلاً أو خلل فى المحرك.

صمام حجز ويوضع بعد الصمام المرتد والغرض منه التحكم فى سير المياه وغلق الماء عن الطلمبة عند إصلاحها أو إصلاح صمام عدم الرجوع ومن ذلك يتضح أنه يجب غلق محبسى الحجز إذا أريد إصلاح أى من الطلمبة أو صمام عدم الرجوع – وبذلك لا تصل المياه إلى الطلمبة عن أى طريق.

أجهزة القياس فى محطة الطلمبات

يجب أن يركب على كل طلمبة الأجهزة الآتية لقراءة الضغط والتصرف المار فى كل طلمبة.

- جهاز قياس التصرف Flow Meter.

- جهاز قياس ضغط السحب Suction head gauge.
- جهاز قياس ضغط الطرد Delivery Head gauge.

كما يجب أن يوجد بالإضافة إلى ذلك جهاز لتسجيل ضغط الطرد والتصرف الكلى لمحطة الطلمبات، وهذا الجهاز يُسجل على ورق بيانى (يتبدل يومياً) جميع هذه البيانات للرجوع إليها عند الرغبة فى ذلك.

5	الفصل الخامس

التصميم الهيدروليكى لشبكات توزيع مياه الشرب

مقدمة

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

1. اعتبارات التصميم الهيدروليكى
2. المعادلات الهيدروليكية التى تربط بين المتغيرات الرئيسية
3. خطوات التصميم الهيدروليكى
4. حساب الضغوط فى أجزاء الشبكة
5. التصميم باستخدام الحاسب الآلى
6. القطر الاقتصادى للمواسير

اعتبارات التصميم الهيدروليكى

نستعرض فيما يلى اعتبارات التصميم الهيدروليكى الأساسية، وتشمل:

1. التصرف التصميمى
2. الضغوط التصميمية
3. السرعات التصميمية

التصرف التصميمى

من البديهى نتيجة لاختلاف معدل استهلاك المياه فى أى تجمع سكنى، من شهر لآخر، ومن يوم لآخر، بل وخلال ساعات اليوم الواحد؛ أن يتم تصميم مشروعات المياه بحيث يمكن لمرفق المياه مواجهة الاحتياجات المائية المختلفة للسكان. ولكل نوع من أنواع تخطيط شبكات توزيع المياه النقية. ونتناول فيما يلى التصرف التصميمى لكل من حالة التخطيط الشبكى وحالة التخطيط الشجرى والدائرى لشبكة التوزيع.

أولا: التصرف التصميمى فى حالة التخطيط الشبكى

- تصمم خطوط المواسير الرئيسية (الناقلة للمياه من محطة الضخ – أو التنقية – حتى بداية الشبكة داخل المدينة أو القرية) على أساس أقصى تصرف يومى مضافا إليه تصرف الحريق. وذلك على أساس أن معدل الضخ ثابت على مدار اليوم. أما إذا كان الضخ لفترة محدودة (16 ساعة مثلا)، فيتم تعديل التصرف التصميمى وفقا لظروف التشغيل، وذلك باستخدام الخزانات العالية لتلبية التغير فى احتياجات المياه خلال ساعات اليوم، وخلال ساعات التوقف عن الضخ (غالبا ساعات الليل).
- تصمم خطوط المواسير الثانوية (الموجودة داخل التجمع السكنى) على أساس أقصى استهلاك فى الساعة، أو معدل الاستهلاك اليومى مضافا اليه تصرف الحريق، أيهما أكبر.
- تصمم خطوط التوزيع الفرعية على اساس التصرف المطلوب لإطفاء الحرائق، وهو تصرف يختلف بإختلاف عدد السكان. ويوضح الجدول رقم (5-1) احتياجات الحريق فى مصر بالنسبة لعدد السكان.

جدول رقم (5-1) : معدلات التصرف المطلوبة لإطفاء الحرائق

م	عدد السكان (نسمة)	التصرف المطلوب لإطفاء الحريق (لتر/ث)
1	حتى 5000	30-20
2	10000-5000	35-25
3	20000-10000	40-30
4	30000-20000	45-35
5	50000-30000	50-40
6	100000-50000	75-45
7	أكثر من 200000	**100-50**

ثانيا: التصرف التصميمى فى حالة التخطيط الشجرى والدائرى

يتم تصميم الشبكات على أساس متوسط الاستهلاك اليومى مضروبا فى معامل الذروة. ويتوقف هذا المعامل على عدد السكان وصفات المنطقة المراد تغذيتها سواء كانت حضرية (مدنا) أو ريفية، كما هو مبين فى الجدول رقم (5-2).

جدول رقم (5-2) : قيم معامل الذروة المستخدم فى حساب التصرف التصميمى فى حالة التخطيط الشجرى والدائرى

م	عدد السكان (نسمة)	حضر	ريف (قرية واحدة أو مجموعة قرى)
1	حتى 50000	2.25	2.0
2	10000-50000	2	1.80

3	500000-100000	1.80	1.60
4	1000000-500000	1.40-1.60	-
5	1000000 فأكثر	1.20-1.40	-

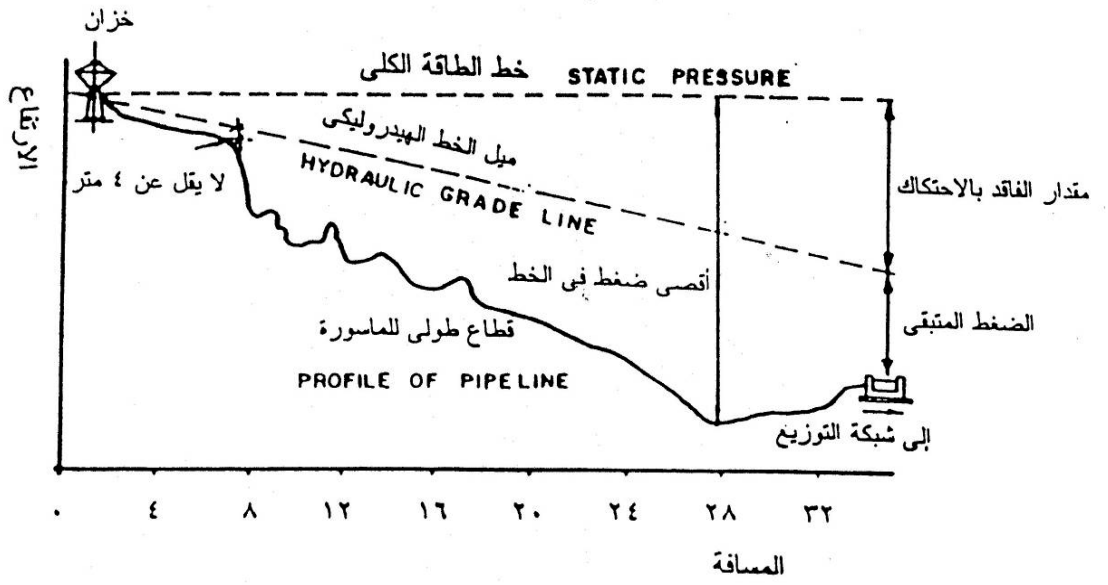
الضغوط التصميمية

تتبع خطوط مواسير المياه عند إنشائها عادة طبيعة سطح الأرض، حيث يتم إنشاؤها قريبة منه، وعلى عمق يتراوح بين 1.0 و 3.0 متر طبقا لقطر الماسورة. ومع استمرار خط المواسير فى السير بعيدا عن محطة طلمبات الضغط العالى أو محطة التنقية أو الخزان العالى، يقل الضغط فى الخط. لذا يجب توقيع (رسم) خط الميل الهيدروليكى، والذى يبين ضغط المياه فى خط المواسير تحت ظروف التشغيل المختلفة، فوق القطاع الطولى لخط المواسير وعلى مدى طوله، للتمكن من معرفة الضغوط عند النقط المختلفة فى الشبكة.

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

أ – الضغوط التصميمية للخطوط الناقلة

فى بعض الحالات التى تكون فيها محطة التنقية أو الخزان على منسوب عال بالنسبة للمدينة، بحيث يسير الماء فى الماسورة الرئيسية دون حاجة إلى محطة ضخ كما فى الشكل رقم (5-1)، يجب ألا يقل ضغط التشغيل (أو الضغط المتبقى) فى اى نقطة على الخط عن أربعة أمتار.



شكل رقم (5-1) :الضغط التصميمى لخط المواسير

ب – الضغوط التصميمية لشبكات التوزيع

نتيجة للاعتبارات الاقتصادية لأطوال شبكات الإمداد بالمياه يتم اختيار الضغوط التصميمية لشيكات التوزيع على النحو التالى:

- فى المدن والتجمعات السكنية التى يتراوح متوسط ارتفاع مبانيها بين ثلاثة وأربعة أدوار (حوالى 15 مترا)، لا يقل الضغط المتبقى فى الشبكة عادة عن 25 مترا فوق أعلى وأبعد منسوب للأرض فى ساعات الاستهلاك الأقصى، على أن يصل الماء إلى الأدوار العلوية تحت ضغط قدره خمسة أمتار.
- فى التجمعات السكنية التى تتكون معظم مبانيها من دور واحد أو دورين، عادة لا يقل الضغط المتبقى فى الشبكات عند أقصى معدلات استهلاك فوق أعلى منسوب لسطح الأرض عن 15 مترا، أو ما يحقق، على الأقل، الضغط المناسب لتشغيل حنفيات الحريق.
- فى المناطق التجارية والصناعية، يفضل ألا يقل الضغط عن 30-40 مترا.

وعموما لا يفضل استخدام ضغوط مرتفعة تزيد عن الحاجة الضرورية للشبكة، حيث أن ذلك قد يؤدى غلى المزيد من التسرب فى الشبكة، وإلى استخدام مواسير غالية الثمن لتتحمل هذا الضغط. لذلك يجب مراعاة أن تفى الضغوط بالمطلوب فقط.

السرعات التصميمية

يتم اختيار سرعات سريان الماء فى المواسير تبعا لظروف التصميم. وتتراوح قيمة السرعات عند التصرفات التصميمية من 0.8 م/ث إلى 1.5 م/ث. وتؤخذ فى المتوسط فى حدود 1.00 م/ث.

المعادلات الهيدروليكية التى تربط بين المتغيرات الرئيسية

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

1 -معادلة التصرف

2 -معادلات حساب الفواقد الرئيسية

معادلة التصرف

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

$$Q = A \times V \qquad (1\text{-}5)$$

حيث:

Q: التصرف التصميمى المطلوب نقله (م3/ث)

V: سرعة سريان المياه التصميمية (م/ث)

A: المساحة المائية لمقطع الماسورة = $\frac{\pi D^2}{4}$ عندما تكون الماسورة مملوءة بالمياه (م2)

D: القطر الداخلى للماسورة (م)

وبتحديد التصرف التصميمى والسرعة التصميمية من الاعتبارات السابق ذكرها يمكن باستخدام هذه المعادلة حساب مساحة مقطع الماسورة واستنتاج قطرها.
وبالرجوع إلى بيانات الشركات المنتجة للمواسير، يتم اختيار أقرب أكبر قطر ليكون هو القطر المبدئى للماسورة.

معادلات حساب الفواقد الرئيسية

من أكثر هذه المعادلات الهيدروليكية شيوعا فى 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

$$Q = AV = 0.849\ C\ A\ R^{0.63}\ S^{0.54} \qquad (2\text{-}5)$$

حيث:

V : السرعة (م/ث)

Q : التصرف (م3/ث)

C : معامل الاحتكاك (لهازن – وليامز)) ويعتمد على نوع المواسير والمواد المبطنة لها، كما هو موضح بالجدول رقم (5-3)

R : المعامل الهيدروليكى = $\frac{D}{4}$

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

D : قطر الماسورة (م)

S : معدل الفاقد ويعبر عن ميل الخط الهيدروليكى = $\frac{hr}{L}$

hr : الفاقد الرئيسى فى الضغط (م)

L : طول الماسورة (م)

هذا وقد قام (هازن – وليامز) بترجمة هذه المعادلة إلى منحنيات يسهل استعمالها (مبينة بالملحق). وبمعلومية نوع المواسير، وطولها، وتصرف الماء بها، يمكن بواسطة المنحنيات تعيين القطر، والسرعة، وفاقد الضغط بين طرفى الماسورة.

جدول رقم (5-3) : قيم معامل الاحتكاك فى معادلة هازن-وليامز

م	نوع الماسورة	معامل الاحتكاك (C)
1	اسبستوس أسمنتى	140
2	نحاس أصفر أو أحمر*	140-130
3	(ماسورة من الطوب)*	100
4	حديد زهر: أ – جديد وغير مبطن ب - قديم وغير مبطن جـ- مبطن بالأسمنت د – مبطن بالبيتومين هـ- مطلى بالقار	 130 120-40 150-130 150-140 135-115
5	خرسانة أو مبطنة بالخرسانة: أ – شدات معدنية ب - شدات خشبية جـ- مصنوعة بطريقة الطرد المركزى	 140 120 135
6	خرطوم حريق (مبطن بالمطاط)*	135
7	حديد مجلفن	120
8	ألياف زجاجية مقواة بالبلاستيك	140
9	رصاص (استخدم هذا النوع فى الماضى للوصلات المنزلية)	140-130
10	بلاستيك	150-140
11	صـــلب: أ – جديد وغير مبطن ب – مبرشم	 150-140 110
12	قصدير *	130
13	فخار مزجج *	140-100

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

* لا تستخدم هذه المواسير فى شبكات توزيع مياه الشرب.

أما معادلة كولبروك ووايت فهى موضحة بملحق هذا الكتيب. ونظرا لصعوبة حلها حسابيا تتم الاستعانة بجداول التصميم الهيدروليكى (المعروضة أيضا فى نفس الملحق) لمعرفة قيم المتغيرات المطلوبة.

كذلك يمكن استنتاج معادلة الفاقد الرئيسى فى الضغط (hf) من معادلة هازن – وليامز كالآتى (وذلك بالتعويض عن قيمة كل من S, R, A):

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

ويمكن تبسيط هذه المعادلة إلى:

$$hr = K\ Q^n \qquad (3\text{-}12)$$

حيث:

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

$$n = 1.852$$

خطوات التصميم الهيدروليكى

يتم تصميم شبكة التوزيع على اعتبار أنها ستخدم لفترة زمنية تتراوح بين 40 و 50 سنة، وهى تقارب العمر الافتراضى للمواسير. ويمكن اتباع الخطوات التالية عند إعداد التصميم الهيدروليكى لشبكات التوزيع:

1. تحديد التصرف التصميمى للماسورة، والسرعة التصميمية للمياه المارة فيها، والضغط التصميمى طبقا لاعتبارات التصميم المذكورة فى بداية هذا الفصل.
2. حساب القطر المبدئى للماسورة باستخدام معادلة التصرف، وبمعلومية كل من التصرف التصميمى والسرعة التصميمية.
3. إعداد خريطة للمنطقة، موقعا عليها أطوال وأقطار المواسير الحالية والأقطار المبدئية للمواسير المستقبلية. وتوقع على الخريطة أيضا أماكن جميع المحابس وحنفيات الحريق وباقى ملحقات الشبكة.
4. حساب الاحتياجات المختلفة المطلوبة، شاملة احتياجات مكافحة الحرائق عند النقط المهمة فى شبكة التوزيع.

5. حساب الفاقد الرئيسى فى الضغط فى الخطوط، بالاستعانة بمعادلات ومنحنيات حساب الفواقد الرئيسية (هازن-وليامز).
6. حساب الضغوط فى الأجزاء المختلفة للشبكة، وذلك بمعلومية الفاقد الرئيسى فى الضغط فى كل خط.

وهناك عدة طرق لحساب الضغوط فى مختلف مناطق الشبكة، منها طريقة المواسير المكافئة، وطريقة القطاعات، وطريقة هاردى كروس، وطريقة الدائرة. وسنتناول بالشرح فى الجزء التالى هذه الطرق الأربعة الرئيسية لحساب الضغوط.

7. تعديل الأقطار المبدئية للمواسير للوصول إلى الضغوط التصميمية المطلوبة لها.
8. حساب الفواقد الثانوية فى القطع الخاصة والوصلات والمحابس ومختلف أجزاء الشبكة من المعادلة الآنية فى صورتها العامة:

$$h = K_L \ V^2 / 2g \qquad (4\text{-}5)$$

حيث:

h : مقدار الفاقد الثانوى فى الضغط (م)

V : سرعة السريان (م/ث)

g : عجلة الجاذبية الأرضية (9.81 م/ث^2)

K_L : معامل يتوقف على نوع الوصلة أو القطعة (أنظر الملحق الأول)

الشروط الفنية لشبكات التوزيع

يجب أن تتوافق نتائج التصميم الهيدروليكى مع الشروط الفنية الآتية:

1. أقل قطر يمكن استخدامه فى شبكات التوزيع هو 100 مم ويفضل 150 مم حتى يحقق أقل متطلبات لتركيب حنفيات مكافحة الحريق.

2. لا يسمح بتوصيل الوصلات المنزلية مباشرة على الخطوط ذات الأقطار الأكبر من 300 مم.
3. المسافة بين الخطوط الرئيسية تكون فى حدود 1000 متر.
4. المسافة بين الخطوط الشبه رئيسية (الثانوية) تكون فى حدود 500 متر.
5. الخطوط الفرعية لا يزيد طولها عن 300-400 متر.

حساب الضغوط فى أجزاء الشبكة

نتناول فيما يلى الطرق الأربعة المشار إليها لحساب الضغوط فى أجزاء الشبكة المختلفة، وهى:

1. طريقة المواسير المكافئة
2. طريقة القطاعات
3. طريقة هاردى كروس
4. طريقة الدائرة

طريقة المواسير المكافئة

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

وتستعمل هذه الطريقة فى حالة تحويل الشبكات الرئيسية إلى شبكات بسيطة يمكن حلها بسهولة، أو فى حالة طلب مد خطوط رئيسية لمناطق جديدة، أو زيادة الاستهلاك وإضافة خطوط جديدة، وذلك باستبدال ماسورة أو مجموعة من المواسير المتصلة على التوازى أو التوالى بماسورة واحدة. علما بأن هذه الماسورة المكافئة تخيلية، بمعنى أن طولها أو قطرها غير واقعى. ونعرض فيما يلى أسس حساب

قطر وطول الماسورة المكافئة فى كل من حالتى المواسير المتصلة على التوالى والمواسير المتصلة على التوازى.

أولا: المواسير المتصلة على التوالى

يكون التصرف المفترض، المار بمجموعة المواسير المتصلة على التوالى، مساويا للتصرف المار فى كل منها، مع الأخذ فى الاعتبار أن الفواقد فى الضغوط تجمع مع بعضها لتساوى الفاقد الكلى فيها، والذى بمعلوميته ومعلومية التصرف المار يمكن فرض القطر المكافئ. ومن المنحنيات يمكن إيجاد السرعة ومعدل الفقد، وبالتالى إيجاد طول الماسورة المكافئة كما هو مبين بالشكل (12-2-أ)، وذلك على أساس أن:

$$Q = Q1 = Q2 = Q3 = ... \quad (5\text{-}5)$$

$$H = H1 + H2 + H3 + ... \quad (6\text{-}5)$$

حيث:

Q : معدل التصرف (م^3/ث)

H : مقدار الفقد فى الضغط (م)

ثانيا: المواسير المتصلة على التوازى

فى هذه الحالة، يكون الفاقد فى الضغط متساويا بينما التصرف الكلى يساوى مجموع التصرفات المارة فى كل خط على حدة، كما هو مبين بالشكل (5-2-ب). ويتم الحساب على أساس المعادلات الآتية:

$$Q = Q1 + Q2 + Q3 + ... \quad (7\text{-}5)$$

$$H = H1 = H2 = H3 = ... \quad (8\text{-}5)$$

2- طريقة القطاعات

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

1 -المدينة موجودة وحدث تغير فى عدد السكان، ويراد معرفة كفاءة الشبكة لتغذية عدد السكان المطلوب خدمتهم بمياه الشرب.

2 -المدينة موجودة وحدث توسع (امتداد) عمرانى خارج المدينة، وامتدت الشبكة لهذا الجزء من التوسع.

3 -المدينة لم تنشأ بعد، ويراد تصميم شبكتها.

وقد اخترع هذه الطريقة العالم هازن ووضع شروطا لتطبيقها وهى " أن معدل الفاقد فى الضغط يتراوح من 1-3%، وهو ما يوازى سرعة من 60-150 سم/ثانية، وأن يكون القطاع عموديا على اتجاه سريان المياه للخطوط التاقلة للمياه من محطة الضخ إلى شبكة التوزيع ". ونعرض فيما يلى خطوات هذه الطريقة لكل من الحالتين الأولى والثانية المشار اليهما أعلاه.

أولا: فى حالة حدوث تغير فى عدد السكان

فى هذه الحالة، تكون الشبكة قائمة وأقطارها معروفة فتتبع خطوات التصميم الهيدروليكى الخمس الأولى، ثم يكون الحساب كالتالى:

1 -الماسورة معروف قطرها ويفترض لها الميل الأقصى (0.3 %) ومن المنحنى يمكن معرفة التصرف المار بها.

2 -تجمع التصرفات التى تحملها المواسير المقطوعة، ثم تقارن مع التصرفات المطلوبة، فإذا تساوت كانت الشبكة الموجودة كافية. أما إذا كانت التصرفات المطلوبة أكبر فلابد من تعويض النقص، وذلك إما بوضع ماسورة أخرى جديدة تحمل التصرف المكمل (توضع فى أحد الشوارع التى يظن أنها فى حاجة إلى

المياه)، أو باستبدال ماسورة قديمة باخرى جديدة أكبر منها لتعويض النقص فى التصرفات.

ثانيا: فى حالة امتداد العمران خارج المدينة

تتبع نفس الخطوات بالإضافة إلى أخذ قطاع إضافى على مناطق التوسع لتحديد أقطارها، مع الأخذ فى الاعتبار أن أصغر قطر يلتف حول أى توسع جديد لا يقل عن 200مم، حتى لو كان التصرف اللازم لهذا التوسع يحتاج إلى ماسورة أقل من ذلك.

المعادلات التى تحكم التصرفات داخل الشبكة

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

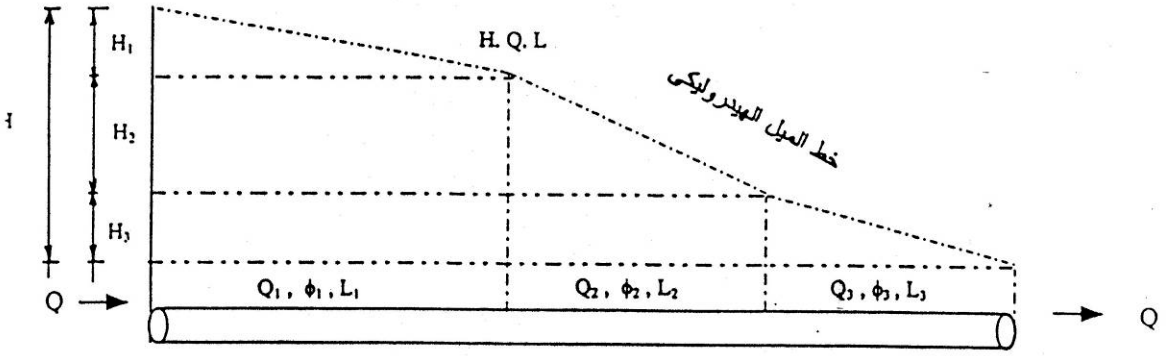
$$\sum Q \text{ in} - \sum Q \text{ out} = \text{Zero}$$

$$Q2 + Q1 + Q5 - (Q6 + D) = 0 \qquad (9\text{-}5)$$

$$Q1 + Q2 + Q5 - Q6 = D \qquad (10\text{-}5)$$

2 -لكل دائرة مجموع فواقد الضغط فى اتجاه معين يساوى صفر.

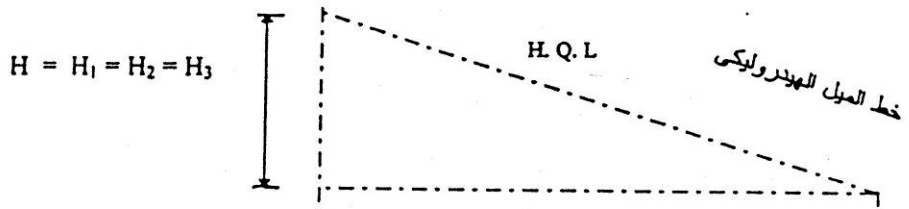
$$\sum h_f = \sum K Q^n = \text{Zero}$$



$$Q = Q_1 = Q_2 = Q_3$$

$$H = H_1 + H_2 + H_3$$

(أ) حالة المواسير المتصلة على التوالى



شكل رقم (5-2): طريقة المواسير المكافئة

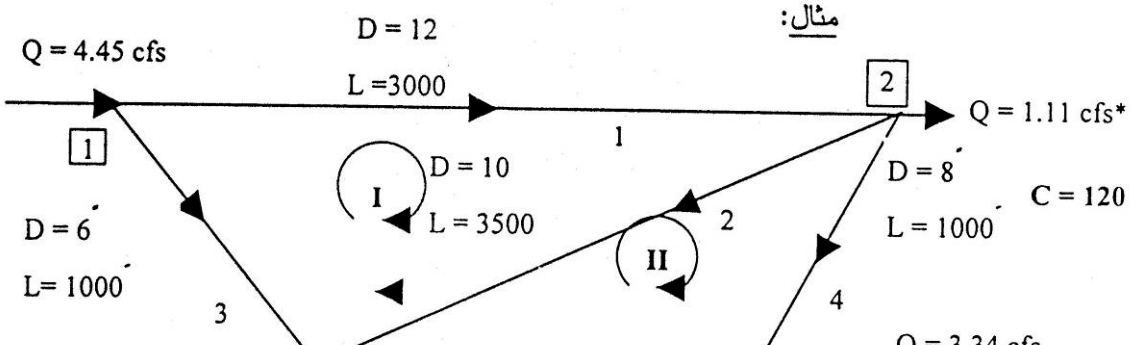
تتكون شبكة المواسير من عدد J من الوصلات و L من الدوائر غير المتداخلة و N من المواسير، تربطهم المعادلة التالية:

$$N = (J - 1) + L \qquad (11\text{-}5)$$

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

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

ولأن أى شبكة تحتوى على مئات من المواسير لذلك يلزم استخدام الكمبيوتر فى حل هذه الشبكات بطرق سهلة. ويعرض الشكل رقم (5-3) مثالا مبسطا لذلك.



شكل رقم (5-3): مثال لشبكة مواسير تحتوى على أكثر من دائرة مقفلة

حيث:

K من معادلة (3-12)

P	=	Pipe	K_1	=	2.018
D	=	Diameter	K_2	=	5.722
l	=	Length	K_3	=	19.674
□	=	Node No*	K_4	=	4.847
◯	=	Pipe No	K_5	=	1.009

فى هذا المثال

عدد الوصلات J = 4

عدد الدوائر L = 2

∴ عدد المعادلات المطلوبة J -1 + L = 5

معادلات التصرفات فى نقاط التلاقى 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 الفواقد فى الدوائر L:

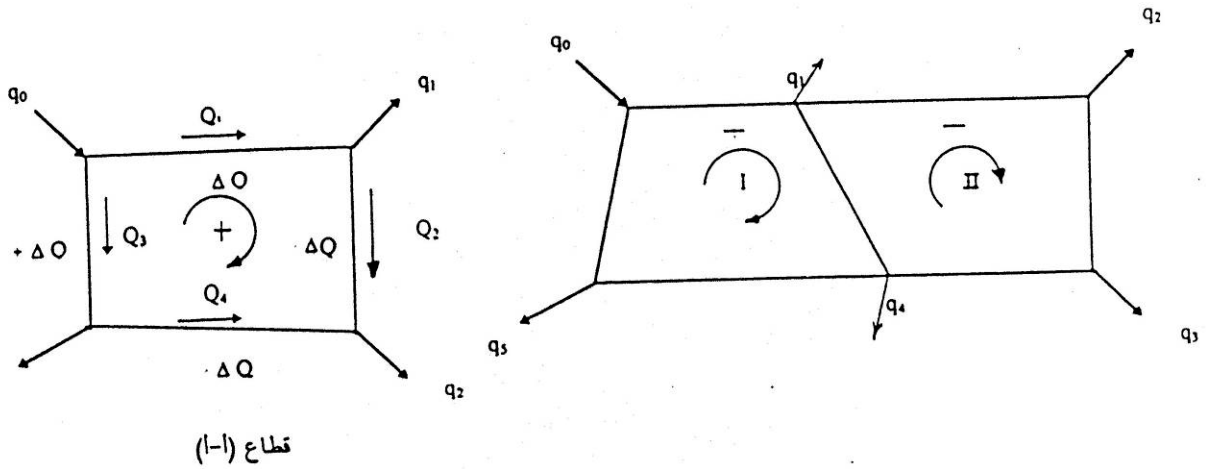
ومن معادلة (5-3) وفى اتجاه عقارب الساعة

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

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

3- طريقة هاردى كروس

اخترع هذه الطريقة العالم هاردى كروس (Hardy Cross) عام 1936، وهى تعتمد على المحاولة والخطأ، وتستعمل فى تحديد التصرفات المارة بالمواسير وتعيين الضغوط فى الشبكة عند أى نقطة فيها. (شكل رقم 12-4).



شكل رقم (5-4): طريقة هاردى كروس

وفى هذه الطريقة، تتبع الخطوات التالية:

1 -تقسم الشبكة الرئيسية فقط إلى مجموعات على هيئة دوائر مقفلة.

2 -تدرس كل دائرة على حدة، مع الأخذ فى الاعتبار وجود مواسير مشتركة فى الدوائر الأخرى.

3 -يفترض التصرف المار فى المواسير فى الدائرة الواحدة واتجاهه، بحيث تساوى كمية المياه الداخلة كمية المياه الخارجة عند كل نقطة اتصال.

4 -يحسب الفاقد فى الضغط فى كل خط نتيجة مرور التصرف المفروض.

5 -يحسب مجموع الفواقد كلها ($\sum$ hr) فى الدائرة الواحدة مع اخذ الاتجاهات فى الاعتبار.

6 -تحسب القيمة $n \sum (hr/Q) = nKQ^n/Q$

7 -يحسب التصحيح المطلوب للتصرف المفرض Δq ، باستخدام القوانين الرياضية. وبعد حل جميع الدوائر تؤخذ التصحيحات كلها من جميع الدوائر.

$$\Delta q = \frac{-\Sigma hr}{n\Sigma(hr/Q)} = \frac{\Sigma KQ^n}{nKQ^n/Q} \qquad (12\text{-}5)$$

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

8 -يعاد الحساب بعد هذا التصحيح عدة مرات، حتى يصبح الفرق ضئيلا يمكن التغاضى عنه.

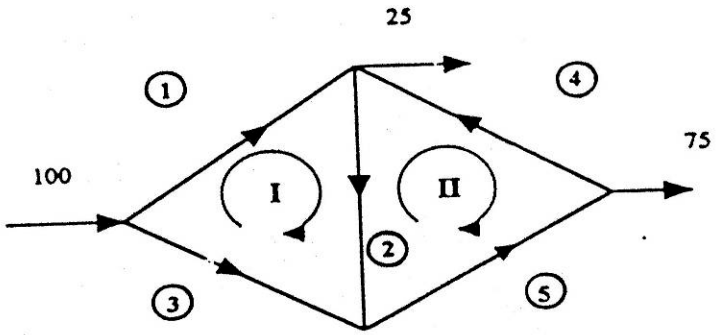
ولإتزان مجموعة من خطوط المياه المقفلة فى شبكة توزيع المياه، يمكن تحديد التصرف الفعلى فيها بإضافة قيمة تصحيحية Δq إلى التصرف الافتراضى Q.

$$Qn = Q + \Delta q \qquad (13\text{-}5)$$

ويعرض الشكل رقم (12-5) مثالا على استخدام طريقة هاردى كروس لحساب الضغوط.

مثال على طريقة هاردى 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



شكل رقم (5-5): مثال على إستخدام طريقة هاردى كروس لحساب الضغوط

4- طريقة الدائرة

تستخدم طريقة الدائرة (Circle Method) فى تصميم او الكشف عن أى نقص فى الضغط فى شبكات المواسير الفرعية (قطر 100,150 مم), وذلك باستخدام التصرف اللازم للحريق. وتتخلص هذه الطريقة فيما يلى:

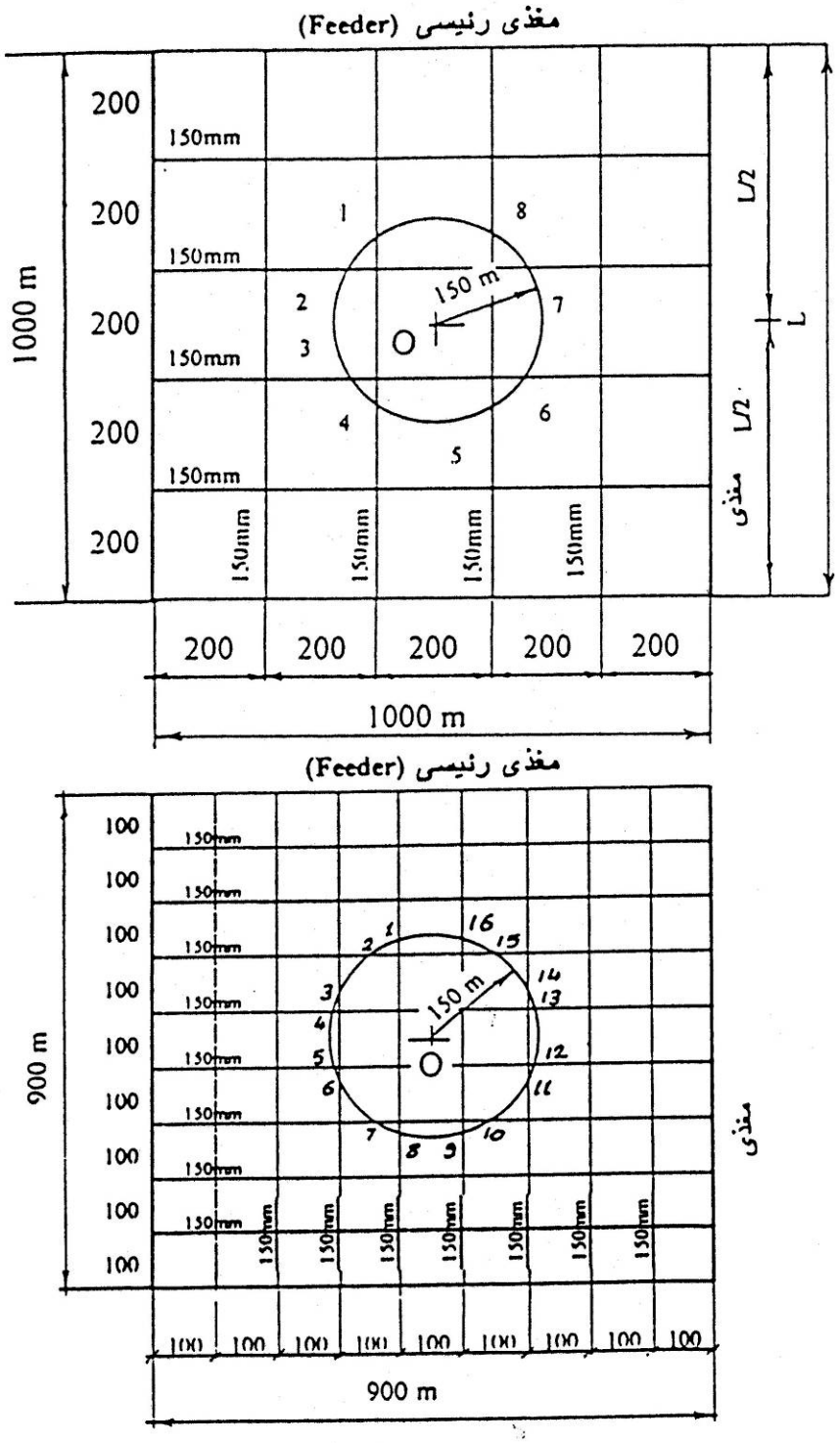
- رسم الشبكات الفرعية على ورق مربعات او بمقياس رسم مناسب.
- رسم دائرة قطرها 300 متر تقطع الخطوط الفرعية فى عدة نقاط.
- افترض أن المواسير المقطوعة تعطى تصرفا يكفى احتياجات الحريق، ومنه يحسب نصيب كل ماسورة من هذا التصرف. مع الأخذ فى الاعتبار انه اذا

كانت أقطار المواسير متساوية، يتساوى نصيب كل منها من التصرف، أما اذا كانت المواسير غير متساوية القطر، فيستعمل الجدول رقم (5-4) التالى لتحويل هذه المواسير ذات قطر واحد.

جدول رقم (5-4): تحويل المواسيرإلى مواسير مكافئة

قطر الماسورة المقطوعة والمطلوب تحديد المكافئ لها	100مم	150 مم	200 مم	250 مم	300 مم
عدد المواسير قطر 100 مم المكافئة للماسورة المقطوعة	1	3	6.6	12	20

- يتم حساب الفاقد فى الضغط فى الماسورة من معادلة (5-3) على أساس قطرها والتصرف الخارج منها وبعدها عن الماسورة الرئيسية المغذية لها.
- يجب أن يكون الضغط فى كل ماسورة عند نقاط التقاطع أكبر من أو يساوى 15 مترا او الضغط الخاص بالحريق.
- فى حالة اكتشاف نقص فى الضغط عن هذا المقدار، فى إحدى المواسير الفرعية فى الشبكة تستبدل بماسورة ذات قطر اكبر ويعاد الحساب من جديد
- إذا مست الدائرة احد الخطوط اعتبرت نقطة التماس كما لو كانت ماسورتين. ويوضح الشكل رقم (5-6) مثالا لطريقة الدائرة وكيفية تطبيقها.



شكل رقم (5-6): مثال لطريقة الدائرة لحساب الضغوط

التصميم الهيدروليكى باستخدام الحاسب الالى

يمكن استخدام الحاسب الالى فى تصميم شبكة توزيع مياه الشرب وذلك بواسطة استخدام أحد برامج الحاسب الآلى المتخصصةفى هذا المجال ومنها برنامج الـ"CYBERNET". وفى هذه الحالة تتنع الخطوات التالية:

(أ) إدخال البيانات الأساسية للحاسب الآلى

(ب) استقراء النتائج الخارجة من الحاسب الآلى

(ت) تحليل النتائج

أ - إدخال البيانات الأساسية الى الحاسب الآلى

هناك سبع مجموعات من البيانات التى يتم إدخالها الى الحاسب الآلى لتصميم الشبكة. وهى تشمل:

1. نموذج الشبكة المقترحة
2. بيانات المواسير
3. بيانات نقاط الاتزان
4. بيانات مصدر المياه
5. مواقع محابس التحكم
6. معدلات الذروة
7. بيانات تصرفات الحريق

1 - نموذج الشبكة المقترحة (Computer model)

يتم عمل نموذج للشبكة المقترحة على الحاسب الآلى يعبر عن شبكة التغذية بمياه الشرب بما فيها من مواسير ونقاط اتزان (Nodes)، وما يتصل بها من أعمال

محطات الضخ والخزانات والمحابس الرئسية وخلافه. ويعبر هذا النموذج عن النظام المقترح للتغذية بمياه الشرب.

2 - بيانات المواسير (Pipe Data)

يتم إدخال بيانات المواسير بالشبكة مثل:

- الرقم المسلسل لكل ماسورة.
- أطوال المواسير بالمتر.
- أقطار المواسير (المبدئية) بالسنتيميتر.
- معامل الاحتكاك لقطاع الماسورة (يعتمد على نوع الماسورة وعمرها)

3 - بيانات نقاط الاتزان (Node Data)

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

- الرقم المسلسل 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

4 - بيانات مصدر المياه(Water Source Data)

يتم إدخال بيانات مصدر المياه مثل محطات الضخ والخزانات كالتالى:

- بيانات الخزانات العالية (مثل الارتفاع والقطر).
- بيانات منحنيات الطلمبات وعدد الطلمبات المستخدمة.

5 - مواقع محابس التحكم (Control Valves Locations)

يتم إدخال مواقع محابس التحكم مثل محابس تخفيض الضغط أو محابس تثبيت الضغط أو محابس التحكم فى التصرف .... إلخ.

6 - معدلات الذروة (Peak Factors)

يتم إدخال بيانات التصرفات المتوسطة عند كل نقطة اتزان، على أن يتم إدخال منحنى التصرف اليومى للفرد بما فيه من معاملات ذروة قصوى ودنيا وذلك لكى يناسب التحليل الهيدروليكى (ظروف التشغيل على مدار اليوم).

7 - بيانات تصرفات الحريق (Fire Flows)

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

ب - استقراء النتائج الخارجة من الحاسب الآلى

يقوم الحاسب الآلى بعمل التحليل الهيدروليكى للبيانات المختلفة التى يتم ادخالها ثم يعطى نتائج تتمثل فيما يلى:

- السرعات فى المواسير.
- اتجاه السريان فى كل ماسورة.
- الفواقد فى الاحتكاك فى المواسير.
- ضغط المياه عند كل نقطة اتزان.
- التصرف الكلى والضغط المطلوب عند الطلمبات.

جـ - تحليل النتائج

بعد استقراء النتائج بواسطة المهندس الهيدروليكى، الذى يقوم بتعديل أقطار المواسير وبيانات الطلمبات للوصول الى انسب الحلول لحدوث اتزان للتصرفات والضغوط بالشبكة.

ويقوم المهندس الهيدروليكى بتحليل النتائج الخارجة من الحاسب الالى لكل حالة من حالات التشغيل المختلفة وتعديل التصميم تبعا لذلك.

وتشمل حالات التشغيل المختلفة حالتين هما:

1. حالة التصرف الأقصى (Peak Demand).
2. حالة التصرف الأقصى + تصرف الحريق (Peak demand + Fire demand)

1- التشغيل فى حالة التصرف الأقصى (Peak demand)

وفى هذه الحالة يتم إمداد الحاسب الألى بالبيانات فى حالة أقصى تصرف. وتشمل النتائج الخارجة من الحاسب الآلى البيانات الآتية:

- التصرف الآقصى.
- أقصى ضغط للماء عند نقاط الاتزان.
- أقل ضغط للماء عند نقاط الاتزان.
- أقطار مواسير التغذية بالمياه.
- يحدد الحاسب الآلى ما إذا كان سيتم استخدام طلمبة واحدة أو مجموعة طلمبات فى حالة أقصى تصرف.

2- التشغيل فى حالة التصرف الاقصى + تصرف الحريق (Peak demand + Fire demand)

فى هذه الحالة يتم إمتداد الحاسب الآلى بالبيانات فى حالة أقصى تصرف + تصرف الحريق. وتشمل النتائج الخارجة من الحاسب الآلى البيانات الآتية:

- التصرف الاقصى + تصرف الحريق.
- أقصى ضغط للماء عند نقاط الإتزان.
- أقطار مواسير التغذية بالمياه وهى نفس أقطار المواسير المستخدمة فى حالة أقصى تصرف.
- يحدد الحاسب الآلى ما إذا كان سيتم استخدام طلمبة واحدة أو أكثر على التوازن فى هذه حالة.

ويوضح الشكل رقم (5-7) خطوط مواسير شبكات توزيع مياه الشرب.

القطر الإقتصادى للمواسير

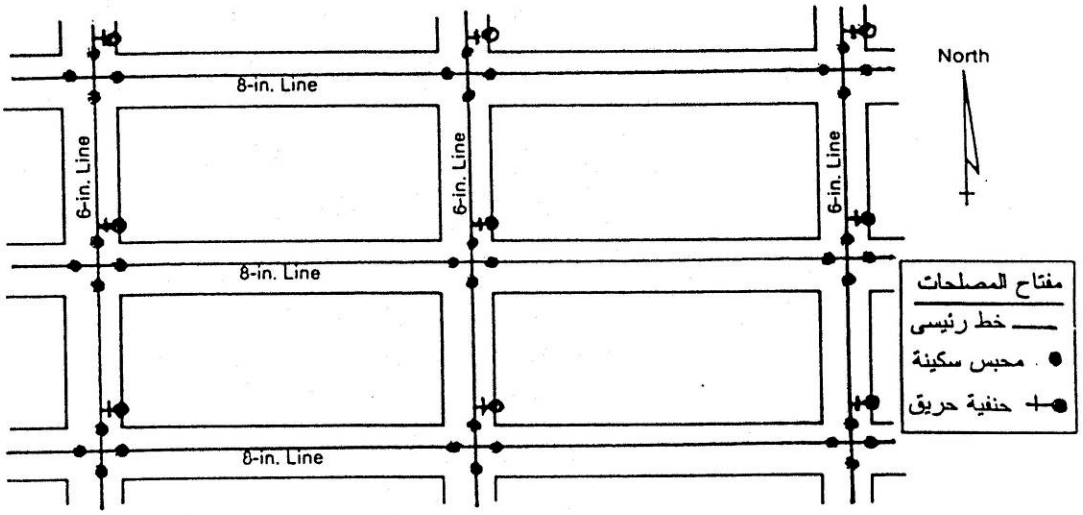
عند اختيار أقطار المواسير التى تضغط فيها المياه لمسافات بين محطة طلمبات الضغط العالى والمدينة (شكل 12-8) فإنه يجب مراعاة اختيار أقطار هذه المواسير بحيث تكون التكلفة اقل ما يمكن – ويمكن تقسيم تكاليف مثل هذه المواسير إلى:

1. الثمن الأساسى للمواسير بما فيه تكاليف الإنشاء- وهذا الثمن يتزايد مع كبر قطر الماسورة، نظراً لزيادة كمية الحديد المستعمل فى الماسورة وكذلك لزيادة التكاليف الإنشائية مع كبر القطر. وهذا الثمن الأساسى يفترض استهلاكه فى المدة التى فيها الماسورة (عمر الماسورة وهذا يسامى عادة حوالى خمسين عاما).
2. الفائدة السنوية لرأس المال الذى استغل فى الثمن الأساسى وهذه الفائدة تتزايد مع كبر رأس المال.

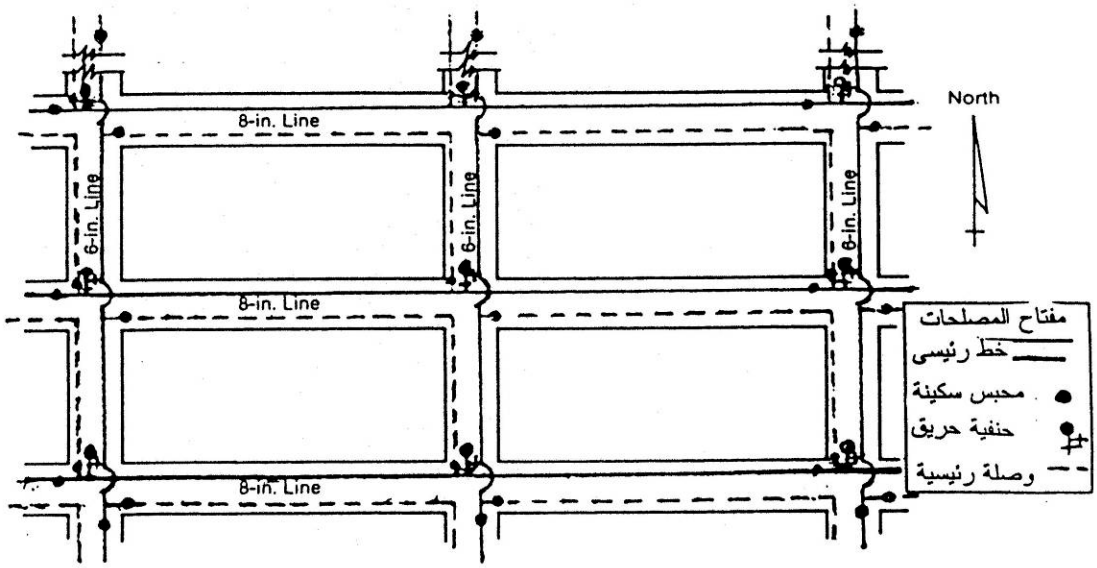
3. تكاليف ضغط الماء فى الماسورة وهذه تقل مع كبر قطر الماسورة إذ أن الفاقد فى الاحتكاك فى الماسورة يقل مع كبر قطر الماسورة – ومن ثم فإن قوة الطلمبات اللازمة لضغط المياه تقل وبالتبعية تقل القوة الكهربية المستعملة.

وبذلك تكون التكاليف السنوية للماسورة.

1. رأس المال مقسوما على عدد سنين خدمة الماسورة.
2. الفائدة السنوية لرأس المال.
3. تكاليف القوة المحركة لطلمبات الضغط.



مخطط نظام تغذية رئيسى مفـرد

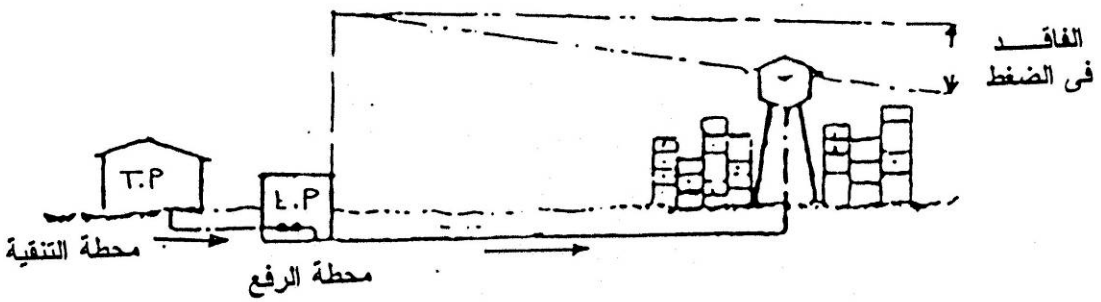


مخطط نظام تغذية رئيسى مزدوج

شكل رقم (5-7): خطوط مواسير شبكات توزيع مياه الشرب

ونلاحظ أن البند 1- 2 يأخذان فى الازدياد إذ أخذ البند الثالث فى النقصان. ويمكن الحصول على أقل مجموع للثلاثة بنود بتطبيق قاعدة كلفن التى تنص على:

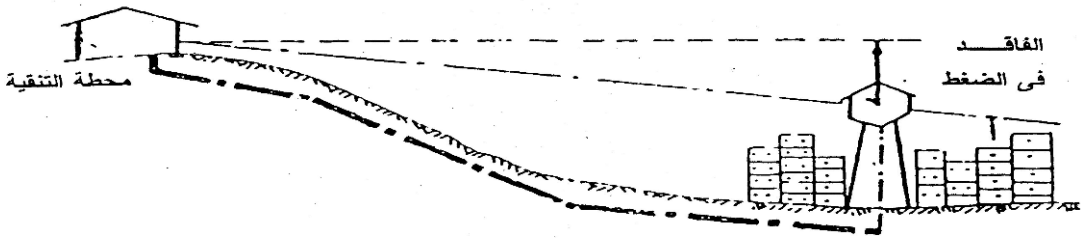
" إذا تساوت التكاليف الآخذة فى الإزدياد مع التكاليف الآخذة فى النقصان فإن جملة التكاليف تكون اقل ما يمكن ".



شكل رقم (5-8): اختيار قطر المواسير المناسب لبعد المسافة بين محطة الضخ والمدينة

القطر الاقتصادى لمواسير تسير بالانحدار الطبيعى

هناك بعض الحالات التى تكون فيها محطة التنقية على منسوب عال بالنسبة للمدينة بحيث يسير الماء فى الماسورة الرئيسية بالانحدار لبطبيعى دون الحاجة الى محطة طلمبات (شكل رقم 5-9). وفى هذه الحالة يحسن اختيار قطر الماسورة هذه بحيث يكون الفاقد فى الاحتكاك مساويا للفرق بين منسوب المياه فى محطة التنقية، ومنسوب المياه فى محطة التنقية، ومنسوب المياه فى خزان المياه العلوى فى أقصى المدينة والذى يكون ارتفاعه كافيا لحفظ المياه على منسوب كاف لرفع المياه الى الدور الرابع فى أى منزل فى المدنية.



شكل رقم (٩-٩)
فاقد الاحتكاك فى المواسير يساوى الفاقد
بين المنسوبين (محطة التنقية والخزان)

شكل رقم (5-9): فاقد الإحتكاك فى المواسير يساوى الفاقد بين المنسوبين (محطة التنقية والخزان)

الضغط فى شبكات التوزيع

تنص بعض المواصفات على أنه يجب حفظ الضغط فى شبكات التوزيع بحيث يكون كافيا لرفع المياه الى الدور الرابع فى المساكن فى أى مكان فى المدينة. على أن يكون عند وصوله الى هذه الأدوار تحت ضغط قدره ستة أمتار غلى الأقل وبذلك بحيث ألايقل عامود الضغط فى المواسير من وعشرين مترآ موزعة كالاتى:

14 مترا ارتفاع أربعة أدوار

5 متر فاقد فى مواسير التوزيع داخل المنزل

6 متر عامود على الصنابير داخل المنزل

25 مترا للمجموع

وتنص بعض الموصفات الأخرى غلى ألايقل الضغط فى المواسير الرئسية فى المدينة عن 40 رطل على البوصة المربعة أى ثلاثة كيلوجرام على السنتيميتر المربع – اما الضغط فى المواسير الفرعية فيجب ألاتقل 20 رطل / على البوصة المربعة أى 1.5 كيلوجرام على السنتيميتر المربع.

أى أن عامود ضغط الماء يجب ألا يقل عن ثلاثين مترآ فى المواسير الرئيسية ولايقل عن خمسة عشر مترا فى المواسير الفرعية.

كما ينص فى بعض الأحوال على ألا يقل الضغط فى المواسير من 60 او 75 رطل على البوصة المربعة (4-5 كيلوجرام على السنتيميتر المربع) وذلك لضمان ضغطا كافيا لمقاومة الحرائق. ألا أن حفظ هذا الضغط العالى نسبيا – ولذلك يفضل ألا يتجاوز الضغط 40 رطل بوصة مربعة أى ثلاثة كيلوجرام / السنتيميتر المربع – وفى هذه الحالة ينصح باستعمال طلمبات متنقلة لضخ الماء من مواسير التوزيع فى خراطيم مقاومة الحريق عند الحاجة لذلك.

كما أنه فى بعض المدن توجد شبكتان للتوزيع يحتفظ فى شبكة منها بضغط عادة 20- 40 رطل / البوصة المربعة أى 1.5-3 كيلوجرام / سنتيميتر المربع. ويحفظ فى الأخرى بضغط عالى من 60-80 رطل البوصة المربعة أى 4-6 كيلو جرام / سنتيمتر المربع – وتستعمل الشبكة الأولى فى الأغراض العادية. أما الشبكة الثانية فتستعمل فى أغراض مقاومة الحرائق أو الأغراض الصناعية الخاصة.

6	الفصل السادس

مصادر مياه الصرف الصحى

مصادر مياه الصرف الصحى (أنواع مياه الصرف الصحى)

تتكون مياه الصرف الصحي أساسا من المخلفات السائلة المنزلية والناتجة من المباني السكنية وبعض الصناعات الخفيفة بالمدينة كالصناعات الغذائية بالإضافة إلى مياه الرشح ومياه الأمطار التي تصل إلى الشبكة.

وتتكون مياه الصرف الصحى أصلا من مياه الشرب المستعملة بما تحتويه من العناصر الكيمائية الموجودة فيها قبل الاستعمال مضافا إليها الشوائب التي تصاحب استعمالها. وتعتمد هذه الشوائب في نوعيتها وكمياتها على مجالات استعمال المياه فتختلف بالنسبة للمخلفات الصناعية عنها بالنسبة للاستعمالات المنزلية وعن مياه الأمطار وكذلك مياه الرشح وكل نوع من هذه الأنواع تتداخل عوامل كثيرة في التأثير على مكوناتها وتتفاوت هذه العوامل من منطقة إلى أخرى.

مياه الصرف الصحى المنزلية

تشمل المياه المستعملة من التجهيزات الصحية المنزلية والمراحيض وأحواض المطبخ والأجهزة الأخرى ويتضح من ذلك نوعية الشوائب في هذه المياه وهى مخلفات الطعام والفضلات الآدمية بالإضافة إلى المواد الناتجة عن الاستحمام ونظافة الملابس والأواني والأرضيات وأعمال النظافة الأخرى.

وتختلف نوعية مياه الصرف الصحى المنزلية طبقا للعوامل التالية:

أ. نظام شبكات التجميع وهل هي مشتركة أو منفصلة.

ب. مستوى المعيشة.

ج. معدلات استهلاك المياه.

د. خصائص مياه الشرب.

مياه الأمطار

وتحتوى مياه الأمطار بعد تجميعها على المواد التى تحملها الأمطار أثناء سقوطها أو جريانها فوق أسطح المباني والأرض وتختلف ما تحمله مياه الأمطار من أتربة ورمال ومواد عضوية على عدة عوامل كثيرة منها طبيعة الأسطح التي تسقط الأمطار عليها ونوعية رصفها ومدى تكرار الأمطار ومدتها . وقد تحتوى مياه الأمطار في بعض الأحيان على تركيز عالي من المواد العالقة التي تجرفها المياه من الأسطح التي تسقط عليها بالإضافة إلى بعض الغازات الذائبة في الأمطار أثناء هطولها.

المخلفات السائلة الصناعية

تختلف مكونات المخلفات الصناعية وصفاتها حسب نوع الصناعة والعمليات الصناعية بها وكمية المياه المستعملة في الصناعة والمواد التي تدخل في التصنيع والنسبة التى تصل منها إلى مياه الصرف الصحى وتكون بعض المخلفات الصناعية أشد تركيزا من مياه المياه الملوثة المنزلية بالنسبة لمواد العضوية والعالقة والذائبة وقد تكون بعضها أقل فنجد مثلا أن المياه المستعملة في صناعة الورق تحتوى على تركيز عالي من المواد العضوية العالقة والذائبة بينما نجد أن المياه المستعملة في صناعة التبريد تكون خالية من الشوائب وتحتوى بعض المخلفات الصناعية على مواد سامة أو ضاره بالنسبة للكائنات الحية الدقيقة في المياه الملوثة والتي لها دور كبير في عمليات المعالجة ولذلك لا يسمح بصرف المخلفات الصناعية بشبكات الصرف الصحي ألا إذا توافرت فيها معايير وخصائص معينة حددها القانون

المصري رقم 93 لسنة 1962 وأيضا القانون رقم 44 لسنة 2000 في شأن صرف المخلفات الصناعية السائلة على شبكات الصرف الصحى.

مياه الرشح (Infiltration)

وهى المياه التي تدخل مواسير الصرف الصحي من سطح الأرض أو من المياه الجوفية في باطن الأرض إذا كان منسوبها أعلى من منسوب المواسير. لذا يجب أن نقدر قيمتها لتؤخذ في الاعتبار عند التصميم وتدخل المياه الجوفية عن طريق الوصلات والمسام والمطابق المعيبة وأغطية المطابق التي يقل منسوبها عن سطح الأرض وتعتمد كمية مياه الرشح على ارتفاع المياه الجوفية فوفق المواسير وجودة الوصلات ونوعية مواسير الصرف المستخدمة وقطرها وطولها واستخدام أغطية للمطابق بدون فتحات وخاصة في المناطق الممطرة وتحتوى أسس التصميم والمراجع المختلفة على كميات مياه الرشح ، فللمواسير قطر 200مم تتراوح مياه الرشح من 10 إلى 30 متر (*) مكعب في اليوم لكل كيلو متر من المواسير ، للمواسير 600 مم تتراوح مياه الرشح من 20 إلى 80 متر مكعب لكل كيلو متر من المواسير وكمية المياه المتسربة من كل مطبق تقدر بحوالى من 1.3 إلى 4.7 لتر لكل ثانية وتتوقف على عدد وحجم الفتحات في غطاء كل مطبق.

وهذه الكميات قابلة للزيادة في حالة سوء التنفيذ وقابلة للنقص في حالة استخدام الأنواع الجيدة من المواسير التي تقل فيها الوصلات و القليلة أو ذات المسامية المنعدمة.

وقد يحدث في بعض الأحيان عكس حركة مياه الرشح وهى ظاهرة الترشيح في حالة وجود المياه الجوفية على منسوب أقل من منسوب المواسير فتتسرب مياه من المواسير لطبقات التربة المحيطة (Exfiltration). مما تتسبب في تلوث التربة

والمياه الجوفية بالإضافة إلى خلخلة التربة أسفل أساس المواسير والمطابق وتأثير ذلك على سلامة هذه المنشآت والمواسير.

ويتأثر منسوب مياه الرشح بالدرجة الأولى كلما كان الموقع مجاوراً للأنهار أو الترع أو المجارى المائية وعموما يقل هذا التأثير كلما زاد البعد عن المجارى المائية.

ولذلك نجد أن الموقع المجاور للنهر ولمسافة في حدود الخمسون مترا من جسر النهر يتأثر عند ارتفاع منسوب النهر وعند انخفاض منسوب النهر ينخفض معه منسوب مياه الرشح.

مياه غسيل الشوارع والأرصفة

وهذه المياه الملوثة تصرف في البالوعات ومنها إلى شبكة الصرف حاملة معها بعض الرمال والورق والزيوت والشحومات.

مكونات وخصائص المخلفات السائلة

تتكون المخلفات السائلة من المياه الناتجة من الحمامات والمطابخ والغسيل (الاستخدام المنزلى) والمخلفات الصناعية ومياه الأمطار ومياه غسيل الشوارع ومياه الرشح وتتغير مكونات مياه الصرف الصحى السائلة من وقت لآخر على مدار السنة والشهر واليوم أسوة بتغير كمياتها، إلا أنه يمكن القول أن المخلفات السائلة تتكون في المتوسط من 99.9% ماء و 0.1 % مواد صلبة سواء كانت عالقة أم ذائبة ، عضوية أو غير عضوية ، كما تحتوى على الكثير من البكتريا بأنواعها هوائية أو لا هوائية.

العوامل التي تؤثر على محتويات وخصائص مياه الصرف الصحى

- عمر المخلفات السائلة

أي الوقت الذي مضى منذ صبها في شبكة الصرف إلى وقت أخذ العينة ، فالمخلفات السائلة في بدء جريانها في شبكة الصرف تكون ذات لون مائل إلى الرمادي مع

وجود مواد برازية وزيوت وشحوم وأوراق ومخلفات الخضراوات طافية على السطح.

ويمضى الوقت ونتيجة لجريان هذه المخلفات السائلة في شبكة الصرف تتفتت المواد العالقة والطافية وتندمج مع بعضها مكونة سائل متجانس ذو عكارة عالية ولون أشد تركيزا بينما تتصاعد منها روائح كريهة نتيجة لتحلل بعض المواد العضوية تحللا لاهوائيا.

- وقت جمع العينة

لما كانت المياه المستعملة وكذلك الغرض من استعمالها يتغيران من وقت لآخر فمن البديهي أن محتويات العينة ودرجة تركيز هذه المحتويات تختلف من وقت لآخر- فنجد أن أكثر العينات تركيزا هي التي تؤخذ في الساعات الأولى في الصباح – بينما نجد أن أقل العينات تركيزا هي التي تؤخذ في الساعات المتأخرة من الليل.

كما أنه تبعا لنشاط الصناعة من موسم لآخر على مدار السنة فإن مكونات المخلفات ودرجة تركيز ما تحتويه من مواد عالقة أو ذائبة تتغير من موسم لآخر.

- تعرض المخلفات السائلة للهواء

تحتوى المخلفات السائلة عند بدء جريانها في شبكة الصرف على بعض الأكسجين الذائب الذي سرعان ما يستهلك نتيجة لنشاط البكتريا الهوائية التي تموت إذا لم يتجدد الأكسجين بتواجد المخلفات في اتصال دائم بالهواء. وعندئذ تنشط البكتريا اللاهوائية ويحدث تحليل لا هوائي للمواد العضوية فتكتسب المخلفات لونا داكنا ورائحة عفنة (Stale) نتيجة لهذا التحلل اللاهوائى – وعلى النقيض من ذلك إذا تواجدت المخلفات السائلة على اتصال دائم بالهواء عندئذ تنشط البكتيريا الهوائية مما ينتج عنه تحلل هوائي للمواد العضوية لا ينتج عنه روائح عفنة أو تركيز عالي في اللون.

من هذا يتضح أن المواد العضوية تتعرض إلى نوعين من التحلل:

- اولا: التحلل اللاهوائى (Putrification)

وهو الذي يتم نتيجة لنشاط البكتيريا اللاهوائية في غياب الأكسجين وينتج عن هذا التحلل غازات النوشادر (Ammonia) الميثان(Methane) كبريتور الهيدروجين (Hydrogen Sulphide) ومعظم هذه الغازات ذات رائحة نفاذه كريهة.

- ثانيا: التحلل الهوائي (Oxidation)

وهو الذي يتم نتيجة نشاط البكتيريا الهوائية عند تواجد الأكسجين وينتج عن هذا التحلل أملاح الأزوتات (Nitrates) والكبريتات (Sulphates) وثاني أكسيد الكربون (Carbon Dioxide) ومواد أخرى غير ضارة.

ويتأثر التحلل الهوائى بعدة عوامل مثل الآتى:

- درجة حرارة المخلفات (Temperature of Sewage)

ويظهر تأثير درجة الحرارة في زيادة نشاط البكتيريا سواء هوائية أو لا هوائية مع ارتفاع الحرارة إلى درجة معينة يأخذ بعدها نشاط البكتيريا في الهبوط.

- العوامل الميكانيكية (Mechanical Factor)

العوامل الميكانيكية مثل مرور المخلفات السائلة على هدارات أو في منحدرات أو في وحدات الطلمبات إذ أن مثل هذه العوامل تساعد على تفتت المواد العالقة الكبيرة الحجم نسبيا إلى مواد أصغر حجما.

- كمية المياه المستخدمة (مياه الشرب) في المدينة وكذلك محتويات هذه المياه وكمية ماء الرشح وكمية مياه المطر.

كميات المياه المستعملة والأمطار تؤثر على درجة تركيز المواد الصلبة عالقة كانت أو ذائبة كما أن الرشح بما قد يحتويه على أملاح ذائبة تؤثر على درجة تركيز المواد الذائبة.

- المواد الصلبة الموجودة في المخلفات السائلة

تتواجد المواد الصلبة في المخلفات السائلة أما عالقة أو ذائبة ، فإذا أخذنا عينة من المخلفات السائلة ووضعناها في فرن تجفيف لتبخير ما فيها من ماء أمكنا إيجاد كمية المواد الصلبة في العينة سواء كانت ذائبة أو عالقة- أما إذا رشحنا العينة قبل التجفيف ثم جففنا السائل الذي مر في ورقة الترشيح أمكننا إيجاد كمية المواد الصلبة العالقة ، وتنقسم المواد الصلبة العالقة بدورها إلى :

مواد سهلة الترسيب أي ترسب في وقت قصير وتقدر بحوالي 50 % من المواد العالقة.

مواد صعبة الترسيب أي تحتاج إلى وقت طويل لترسيبها ويقدر بحوالي 50 % من المواد العالقة.

وتتراوح نسبة المواد الصلبة الذائبة من 65% إلى 75% من مجموع المواد الصلبة بينما تتراوح نسبة المواد الصلبة العالقة من 25% إلى 35 % من مجموع المواد الصلبة وفى عمليات معالجة المخلفات السائلة تحجز نسبة كبيرة من المواد العالقة بينما تمر نسبة كبيرة من المواد الذائبة في كامل عملية المعالجة دون تغيير بذكر إذ يتغير قليل منها بالأكسدة وكما هو موضح بالجدول التالي :

جدول رقم (1/6): مكونات مياه الصرف الصحى (من المدن السكنية)

مياه الصرف الصحى		
1000x999 جزء في المليون	1000 جزء في المليون مواد صلبة	
300 مواد عالقة	700 مواد ذائبة	جزء في المليون

150 قابل للترسيب		150 غير قابل للترسيب				ماء
100 عضوي	50 غير عضوي	100 عضوي	50 غير عضوي	300 عضوي	400 غير عضوي	

كما يمكن تقسيم المواد الصلبة في المخلفات المواد العضوية والغير عضوية:

- مواد عضوية (Organic Matter)

وتسمى أحيانا مواد طيارة أو غير ثابتة (Volatile-Unstable) نظرا لتطايرها عند التسخين لدرجة حرارة عالية.

- مواد غير عضوية (Inorganic Matter)

وتسمى أحيانا مواد معدنية أو ثابتة (Mineral– Stable) ونظرا لثابتها وعدم تطايرها عند التسخين لدرجة حرارة عالية. ويقدر نسبة كل من المواد العضوية والمواد غير العضوية الموجودة في المخلفات السائلة بحوالي خمسين في المائة (50%) من مجموع المواد الصلبة.

الكائنات الحية الميكروسكوبية في المخلفات السائلة

تحتوى المخلفات السائلة بالإضافة إلى المواد الصلبة العالقة والذائبة على عديد من أنواع الكائنات الحية الميكروسكوبية والبكتيريا. والتي يتواجد كل نوع منها بالآلاف في كل مليلتر من المخلفات. إلا أن غالبية هذه الكائنات غير ضار بل أن بعضها ضروري لعمليات المعالجة في تثبيت المواد العضوية وتحويلها إلى مواد ثابتة غير ضارة بل أن بعضها ضروري لعمليات المعالجة في تثبيت المواد العضوية وتحويلها إلى مواد ثابتة غير عضوية – إلا أن بعض هذه الكائنات ضارة وتسبب أمراضاً خاصة إذا وصلت إلى الطعام أو إلى مياه الشرب ومن أمثلة ذلك :-
البكتيريا التيفودية، الباراتيفويد، الدوسنتاريا ، الكوليرا ، الأمراض المعدية الأخرى.
وتجرى على المخلفات السائلة الاختبارات البكتيريولوجية الآتية:

1. العد الكلى للبكتيريا عند درجة حرارة 30 درجة مئوية– وهذا يترواح من نصف مليون إلى خمسة مليون بكتيريا في المليلتر.
2. العد الكلى للبكتيريا عند درجة حرارة 37 درجة مئوية – وهذا عادة يقل قليلاً عن العدد الكلى عند 20 درجة مئوية.
3. عدد بكتيريا القولون ويتراوح تعدادها من 30000 – 20000 في المليلتر.

بديهي أن هذا التراوح الواسع في تعداد البكتيريا يسبب اختلاف وقت وظروف أخذ العينة وكذلك نوع المخلفات وما فيها من مركبات.

الاختبارات الكيمائية لعينة المخلفات السائلة

تجرى بعض الاختبارات الكيمائية الآتية لفحص عينة من المخلفات السائلة بغرض تقدير درجة تركيزها قبل المعالجة كما تجرى نفس الاختبارات على عينة من المخلفات السائلة أثناء وبعد المعالجة وبالمقارنة يمكن الاستدلال على كفاءة عملية المعالجة.

1. الاختبار الآزوت النوشادرى (Ammonia - Nitrogen) وكمية النوشادر تقل بمضي الوقت لتحولها إلى نيترات ونيتريت.

2. اختبار الآزوت على هيئة نترات ونيتريت (Nitrites and Nitrates) وكمية النترات تزيد بمضي الوقت ويدل تواجد الآزوتات بكثرة على اقتراب كفاءة المعالجة إلى الكمال.
3. اختبار الكلوريدات (Chlorides) ويستفاد من هذا الاختبار للدلالة على تلوث الماء بالمخلفات السائلة نظرا لارتفاع تركيز الكلوريدات في المخلفات السائلة عنه في الماء.
4. اختبار كبريتور الهيدروجين (Hydrogen Sulphide) إذ يدل تواجد هذا الغاز في عينة المخلفات على نشاط البكتيريا اللاهوائية وعدم تواجد الأكسجين في العينة.
5. الأكسجين الكيمائي الممتص(COD-Chemical Oxygen Demand) ويستدل منه على مدى تركيز المواد الكربونية العضوية في العينة. إلا أنه ليس بالدقة الكافية.
6. الأكسجين الحيوي (BOD-Biochemical Oxygen Demand) وهو من التجارب الهامة في اختبار عينات المخلفات السائلة باعتباره طريقة لقياس تركيز المواد العضوية في العينة إذ بإجرائها تقدر كمية الأكسجين اللازمة لنشاط البكتيريا في أكسدة المواد العضوية الموجودة في العينة عند حفظها فترة محددة وتحت ظروف معينة، وتجرى التجربة بتخفيف العينة بكمية كعينة من المياه المهواة (Aerated Water) المحتوية على تركيز الأكسجين في الخليط في بداية ونهاية مدة حفظة ومن ثم حساب كمية الأكسجين المستهلك خلال هذه الفترة وتقديرها بالجزء في المليون.

وتتوقف كمية الأكسجين الحيوي على العوامل الآتية:

- تركيز المواد العضوية في العينة ، فكلما زاد التركيز زاد الأكسجين المستهلك أي الأكسجين الحيوي BOD – بل إن معدل استهلاك الأكسجين أثناء إجراء تجربة واحدة يتناسب طردياً مع كمية المواد العضوية التى لم تتأكسد بعد.

- درجة الحرارة أثناء فترة الحفظ (Incubation) إذ كلما زادت درجة الحرارة – إلى حد معين– زاد نشاط البكتيريا في أكسدة وتثبيت المواد العضوية.
- الزمن أو الفترة التى تحفظ أثناءها العينة أي التى يقاس تركيز الأكسجين في العينة في بدايتها ونهايتها.

ولتقنين التجربة (Standardization) وحتى يمكن مقارنة النتائج على عينات مختلفة في أماكن وأوقات مختلفة اتفق على أن تبقى الحرارة طول هذه الفترة 20° مئوية وأن يكون زمن حفظ العينة (Incubation period)خمسة أيام.

يمكن تقسيم العلاقة بين المتغيرات الثلاثة: BOD ، زمن أو فترة الحفظ ، درجة الحرارة إلى ثلاثة مراحل:

أ. **المرحلة الأولى:** وتستمر فترة من 10 إلى 15 يوم أو أكثر وفيها تتأكسد المواد العضوية الكربونية الأصل ، ويتميز هذا الجزء من المنحنى بأن معدل استهلاك الأكسجين يتناسب مع كمية المواد العضوية إلى لم تتأكسد بعد.

ب. **المرحلة الثانية:** وهى فترة انتقال بين المرحلة الأولى والثالثة- وتتميز هذه المرحلة بثبات معدل استهلاك الأكسجين مع ارتفاع في قيمة هذا المعدل – وتستمر هذه المرحلة حوالي ثلاثة أيام.

ج. **المرحلة الثالثة:** فيها يتم أكسدة المواد العضوية الآزوتية الأصل ، وتتميز بأن معدل استهلاك الأكسجين يكاد يكون ثابتا إلا أنه أقل من المعدل في المرحلة الثانية وتستمر هذه المرحلة حتى يتم أكسدة المواد العضوية الذي قد يستغرق شهوراً.

وفى جميع الاختبارات السابقة تظهر النتائج موضحة تركيز محتويات المخلفات السائلة بالجزء في المليون كما في الجدول رقم (6-2) ويبين الجدول رقم (6-3)

كمية المواد العالقة والذائبة والأكسجين الحيوي الممتص بالنسبة للشخص الواحد مقدرة بالجرام/ للشخص ومنه يمكن تحديد تركيز هذه المواد في المخلفات السائلة بعد معرفة معدل استهلاك الشخص للمياه في المدينة.

جدول رقم (6-2): محتويات مياه المخلفات السائلة في الظروف المصرية المختلفة

المحتويات	نوعية المخلفات السائلة			ملاحظات
	قوية	متوسطة	ضعيفة	
اللون	اسود	مائل إلى اسود	رمادي	
الأكسجين الذائب	صفر	صفر	صفر	
الأكسجين الحيوي الممتص	300	200	100	
الأكسجين الكيمائي الممتص	1000	500	250	
مجموع المواد الصلبة	1200	720	400	

المواد العالقة	350	200	100	
المواد الذائبة	850	500	250	
الزيوت والشحوم	150	100	50	
الدهون	40	20	-	
الكالسيوم	40	25	15	
الماغنسيوم	40	25	15	
الصوديوم	70	55	40	
البوتاسيوم	15	11	7	
الحديد	0.4	0.3	0.2	
المنجنيز	0.4	0.3	0.2	
الآزوت الكلى	86	50	25	
النيتريت	0.10	0.05	صفر	
النترات	0.4	0.2	0.1	
النوشادر	50	35	20	
القلوية	250	100	50	
الكلوريدات	100	50	30	
الفوسفات	40	30	20	
السلفات	30	33	15	
الرقم الهيدروجيني	8.5	7.2	-	
درجة الحرارة	60	40	20	
الرائحة	تختلف حسب التفاعلات اللاهوائية ونسبة النتروجين والفسفور و الزمن و كلوريد الهيدروجين المتكون			
الفينول	تختلف حسب الاستخدام			
المنظفات الصناعية				

التحليل مقدر (مجم/لتر)				

جدول رقم (6-3): كمية المواد العالقة والذائبة والأكسجين الحيوى الممتص (جرام/شخص/يوم)

نوع المواد الصلبة	غير عضوية	عضوية	المجموع	الأوكسجين الحيوى الممتص
عالقة	25	65	90	42
قابلة للترسيب	15	40	55	19
صعبة الترسيب	10	25	35	23
ذائبة	80	80	160	12
المجموع	105	145	250	54

التأثير البيئى لمياه الصرف الصحى

من علامات التقدم الحضاري في منطقة ما وجود شبكات لتجميع المياه الملوثة بها تحقق صرف المخلفات السائلة لسكانها ومنشآتها صرفا صحيا وقد زاد الاهتمام في السنوات الأخيرة بأعمال الصرف الصحي نتيجة للزيادة المستمرة في معدلات استهلاك المياه والتي ترتبط بعوامل كثيرة منها زيادة تعداد السكان والتقدم فى الصناعة وكثرة الاحتياجات من المياه . وكل هذه العوامل جعلت من المخلفات السائلة مشكلة كبيرة تتفاقم آثارها ، ويعتبر الصرف الصحي للمخلفات السائلة من أهم العمليات اللازمة لضمان توفر البيئة الصالحة للأفراد في المجتمعات السكنية حتى يمكن تجنب المشاكل التالية:

1. تلوث المجارى المائية السطحية أو المياه الجوفية مما ينتج عنه انتشار الأمراض مثل التيفود والكوليرا وبقية الأمراض التي تنقلها المياه الملوثة.
2. إتاحة الفرصة لنمو وزيادة الذباب والبعوض وما يؤديه ذلك من انتشار الأمراض علاوة على ما تسببه من مضايقات.
3. معاناة الأهالي من مشاكل الصرف في المنازل وأعمال الكسح اللازم إجراؤها كل فترة لبيارات التصريف وخزانات التحليل المستخدمة في حالة عدم وجود شبكة لتجميع للمخلفات السائلة.
4. نزح رواسب خزانات التحليل أو بيارات الصرف وإلقاؤها أما على المجارى المائية مما يؤدى إلى تلوثها أو تجميعها في بعض المناطق القريبة من المدن مما يؤدى إلى وجود قذارة بالمكان وروائح كريهة مما يزيد من مضايقة الأهالي.
5. الأحماض الناتجة من التفاعلات في المياه الملوثة بفعل البكتريا اللاهوائية مما يؤثر على أساسات المنشآت علاوة على تأثيره على التربة المحيطة إذا تم صرف مثل هذه المياه على التربة مما يؤدى مستقبلا لانهيار المنشآت وعدم صلاحية الطرق كما أن استمرار الصرف على التربة المحيطة يؤدى إلى تلوث المياه الجوفية بالجراثيم والطفيليات مما يعوق استخدامها فى مختلف الأغراض.

لذلك يعتبر الصرف الصحي للمخلفات السائلة *المنزلية والمحتوية على الفضلات الآدمية من أهم العمليات اللازمة لضمان توفير البيئة الصالحة للأفراد سواء في المجتمعات الحضرية أو الريفية، ويجب أن يتم الصرف بطرق هندسية واقتصادية وفقا للأسس الفنية وفى حدود الإمكانيات والشروط الأساسية لمقومات الصحة العامة ومقتضيات الراحة والأمان للمواطنين وسلامة ونظافة البيئة .

* سوف يذكر في سياق الكلام لفظ مياه الصرف الصحي أو مياه ملوثة أو مياه المجارى وهى جميعها تستخدم كمرادفات للمخلفات السائلة الناتجة من الاستخدام المنزلي بما تحتويه من الفضلات الآدمية و باقي المياه الملوثة من المصادر.

الغرض من إنشاء شبكات تجميع وصرف مياه الصرف الصحى

قواعد إنشاء مشاريع الصرف الصحي كثيرة ومتعددة أهمها ما يلي:

1. حماية أساسات المباني والمنشآت.
2. حماية المجارى المائية ومصادر المياه الجوفية من التلوث.
3. ضمان أجراء عمليات الصرف للمياه الملوثة على أسس صحية وسليمة مما يوفر وسائل الراحة والرفاهية بالتجمعات السكانية.
4. الاستفادة من مياه الصرف الصحي بعد معالجتها و أعاده استخدامها.
5. الاستفادة من الرواسب الناتجة من وحدات معالجة مياه الصرف الصحي.وذلك بعد معالجتها
6. حماية البيئة المحيطة من التلوث (مياه- تربة – هواء – نبات – حيوان)

أعمال تجميع المخلفات السائلة (مكونات تجميع مياه الصرف الصحى)

يتم تجميع مياه الصرف الصحى السائلة بواسطة شبكة من المواسير تسير فيها المياه الملوثة بما تحتويه من مواد عالقة أو ذائبة بالانحدار الطبيعي تبعا للقوانين الهيدروليكية .

وتسير مياه الصرف الصحى في هذه الشبكة بحيث تصب المواسير الصغرى في مواسير أكبر منها وهكذا إلى أن تصب في النهاية في مجمع رئيسي يصب في بيارة محطة الرفع التي ترفع المخلفات السائلة وتدفعها في مواسير تحت ضغط تعرف بالماسورة الصاعدة أو خط الطرد إلى موقع وحدات معالجة المخلفات السائلة.

ويمكن تقسيم أعمال تجميع المخلفات السائلة إلى الأعمال التالية:

أولا: شبكة المواسير بالانحدار الطبيعي و ملحقاتها من المطابق وغرف التفتيش الأخرى.

ثانيا : محطات الرفع وملحقاتها (البياره- ووحدات الضخ من الطلمبات و المحركات ومواسير السحب والطرد وأجهزة قياس التصرف.

ثالثا : المواسير الصاعدة (خطوط الطرد) وملحقاتها من غرف المحابس وأجهزة الحماية من المطرقة المائية.

7	الفصل السابع

التصرفات المتغيرة لمياه الصرف الصحى
من المصادر المختلفة

عند البدء في تصميم شبكة صرف يتعين تقدير كمية مياه الصرف الصحى المتوقعة في المدينة بعد نموها مستقبلا. وتتجمع مياه الصرف الصحى الخام من عدة مصادر وتتغير هذه المصادر من مدينة إلى أخرى، هذه المصادر هى.

- مياه الصرف الصحى من المناطق السكنية (Residential Flows).
- مياه الصرف الصحى من المناطق التجارية (Commercial Flows).
- مياه الصرف الصحى من المبانى الحكومية (Governmental Flows).
- مياه الصرف الصحى من المناطق الصناعية (Industrial Flows).
- مياه الصرف الصحى من المناطق التعليمية (Institutional Flows).
- مياه الرشح (Infiltration Flows).
- مياه الصرف الصحى الناتجة من قطاع السياحة (Transient or Touristic Flows).

وفى بعض المدن يصعب حساب هذه المكونات كل على حدة لذلك يمكن اعتبار التصرف التجارى والحكومى والتعليمى كجزء واحد.

تصرفات مياه الصرف الصحى

كما سبق ذكره فى الباب الثاني عند دراسة المياه تم تعريف معدلات الاستهلاك المختلفة للمياه وكانت كلها تعتمد علي متوسط الاستهلاك اليومى للمياه (Average Annual Water Consumption) (لتر / الفرد / اليوم).

ويلزم عند تصميم خطوط شبكة الصرف الصحي معرفة التصرفات المختلفة الآتية:

التصرف الآدمى (Residential Wastewater Flows)

ويحسب بضرب متوسط الاستهلاك اليومي الآدمى للمياه في معامل تخفيض يؤخذ من (0.8-0.9).

$$Q_{av\ (sewege)} = (0.8\text{-}0.9) \times Q_{av\ (water\ consumption)}$$

التصرف الصناعي (Industrial Wastewater Flows)

في حالة وجود أنشطة صناعية في المنطقة يؤخذ التصرف الصناعي بقيمة تتراوح ما بين (40 – 80) م^3/الهكتار/اليوم و ذلك ما لم تتوافر بيانات محددة.

أما إذا كانت صناعات صغيرة متواجدة داخل المنطقة فيحمل الاستهلاك الصناعي علي الاستهلاك المنزلي.

التصرفات التجارية (Commercial Wastewater Flows)

و تعتمد علي نوعية النشاط التجاري و تتراوح قيمة الاستهلاك التجاري ما بين 0.5 إلى 1.70 لتر/هكتار/ثانية.

مياه الرشح (Infiltration)

تتوقف كمية مياه الرشح التي تمر خلال خط المواسير لشبكة الصرف الصحي علي نوع الماسورة و كذلك علي بعد خط المواسير من منسوب المياه الجوفية وسلامة الوصلات للخط ومدى إحكامها.

ويتم تقدير مياه الرشح بإحدى الطرق الآتية:

- 0.46 م^3/اليوم/1سم من قطر الماسورة لكل كيلو متر من طول الماسورة (الكود المصرى).
- 0.2 لتر/ثانية/هكتار.
- من 5 الى 15% من التصرف اليومى.
- كما يمكن تطبيق المعادلة الآتية:

$$Q_{inf} = \alpha d h^{2/3}$$

حيث:

Q: كمية مياه الرشح خلال 1000 متر من خط المواسير (لتر / الساعة)

α: معامل يتراوح بين 5 – 10 و يؤخذ (10)

d : قطر الخط (م)

h : العمق المتوسط (م) لخط المواسير أسفل منسوب المياه الأرضية.

التصرف الأقصى لمياه الصرف الصحى

التصرف الأقصى لمياه الصرف الصحى = معامل أقصى تصرف × التصرف المتوسط لمياه الصرف الصحى + تصرف مياه الرشح

$$\text{Peak Factor} = \frac{18 + \sqrt{P}}{4 + \sqrt{P}}$$

حيث:

P: عدد السكان بالألف.

- يمكن استخدام معامل أقصى تصرف فى حالة التصرفات الصناعية والتصرفات التجارية والتصرفات التعليمية.
- عند معرفة مصدر التصرفات الصناعية والتجارية والتعليمية ومقدارها فيتم فرض معامل أقصى تصرف يتم حسابه أو تقديره.
- لا يتم إضافة معامل أقصى تصرف لتصرفات مياه الرشح.

التصرف الأدنى لمياه الصرف الصحى

التصرف الأدنى لمياه الصرف الصحى =
(معامل أدنى تصرف × التصرف المتوسط لمياه الصرف الصحى)
+ (تصرف مياه الرشح)

معامل أدنى تصرف = 0.2 × (عدد السكان بالألف)$^{1/6}$

$$\text{Min Factor} = 0.2 \times P^{1/6}$$

حيث:

P: عدد السكان بالألف.

- يمكن استخدام معامل أدنى تصرف فى حالة التصرفات الصناعية والتصرفات التجارية والتصرفات التعليمية.
- عند معرفة مصدر التصرفات الصناعية والتجارية والتعليمية ومقدارها فإنه يمكن اختيار معامل أدنى تصرف.
- لا يتم إضافة معامل أدنى تصرف لتصرفات مياه الرشح.

التصرفات التصميمية لمياه الصرف الصحى

- **التصرف الأقصى لمياه الصرف الصحى =**

(مجموع التصرفات الأقصى لمياه الصرف الصحى السكنية والصناعية والتجارية والتعليمية والحكومية) + (تصرف مياه الرشح)

- **التصرف الأدنى لمياه الصرف الصحى =**

(مجموع التصرفات الأدنى لمياه الصرف الصحى السكنية والصناعية والتجارية والتعليمية والحكومية) + (تصرف مياه الرشح)

8	الفصل الثامن

التصميم الهيدروليكي لخطوط مواسير شبكات تجميع مياه الصرف الصحى

يقصد بالتصميم الهيدروليكى لمواسير تجميع مياه الصرف الصحى هو إيجاد العلاقة التي تربط بين التصرف و السرعة و مساحة مقطع الماسورة.
و فيما يلي أهم المعادلات الهيدروليكية المستخدمة فى التصميم:

8-1 معادلة الاستمرارية (Continuity Equation)

نظرا لأن مياه سائل غير قابل للانضغاط لذلك عند مرور الماء خلال ماسورة متغيرة القطر أو ثابتة فان التصرف خلال أي مقطع من الماسورة ثابت، وتبعاً لهذا تتغير سرعة سريان المياه بالماسورة كما هو موضح بالشكل رقم (8-1) حيث أن :

$$Q = A \times V \qquad (1\text{-}8)$$

$$Q = A_1V_1 = A_2V_2 \qquad (2\text{-}8)$$

حيث:

Q : التصرف المار فى الماسورة (م ^{3} / ث)

V: السرعة فى الماسورة (م / ث)

A: مساحة مقطع الماسورة = $\frac{\pi D^2}{4}$ عندما تكون الماسورة مملوءة (م^2)

D: القطر الداخلي للماسورة (م)

ويتم اختيار القطر الداخلي للماسورة عن طريق المواصفات القياسية لكل نوع من أنواع المواسير والاستعانة ببيانات الشركة المنتجة لها، و يعبر عن قطر الماسورة بالقطر الداخلي لها بالإضافة إلى ذكر القطر الإسمى أو القطر الخارجي إذا تطلب الأمر ذلك.

و يتم اختيار السرعات في المواسير تبعا لظروف التصميم ففي حالة الأرض المنبسطة يتم التصميم علي أقل ميل مسموح به للماسورة بحيث لا يحدث ترسيب أما في حالة الأرض المنحدرة فتصمم الماسورة علي ميل يوازي سطح الأرض بحيث لا تزيد السرعة عن 3.5م/ث و يتم تحقيق ذلك باتباع نظام الهدارات للحصول علي ميول مناسبة.

المعادلات الهيدروليكية

8-2-1 معادلة هازن – ويليامز (Hazen Williams Formula)

وتعتبر هذه المعادلة من أكثر المعدلات شيوعا في الاستخدام لعدة أسباب منها

- ذات صيغة مناسبة و سهلة في الاستخدام.
- حققت نتائج عملية مناسبة تتفق مع الصيغة الرياضية.
- صالحة للاستخدام لمدى واسع من الأقطار من 150 مم و لقيم C أكبر من 100 .

و المعادلة على الصورة

$$H_f = 10.706 \times (\frac{Q}{C})^{1.85} \times D^{-4.87} \times L \qquad (6\text{-}8)$$

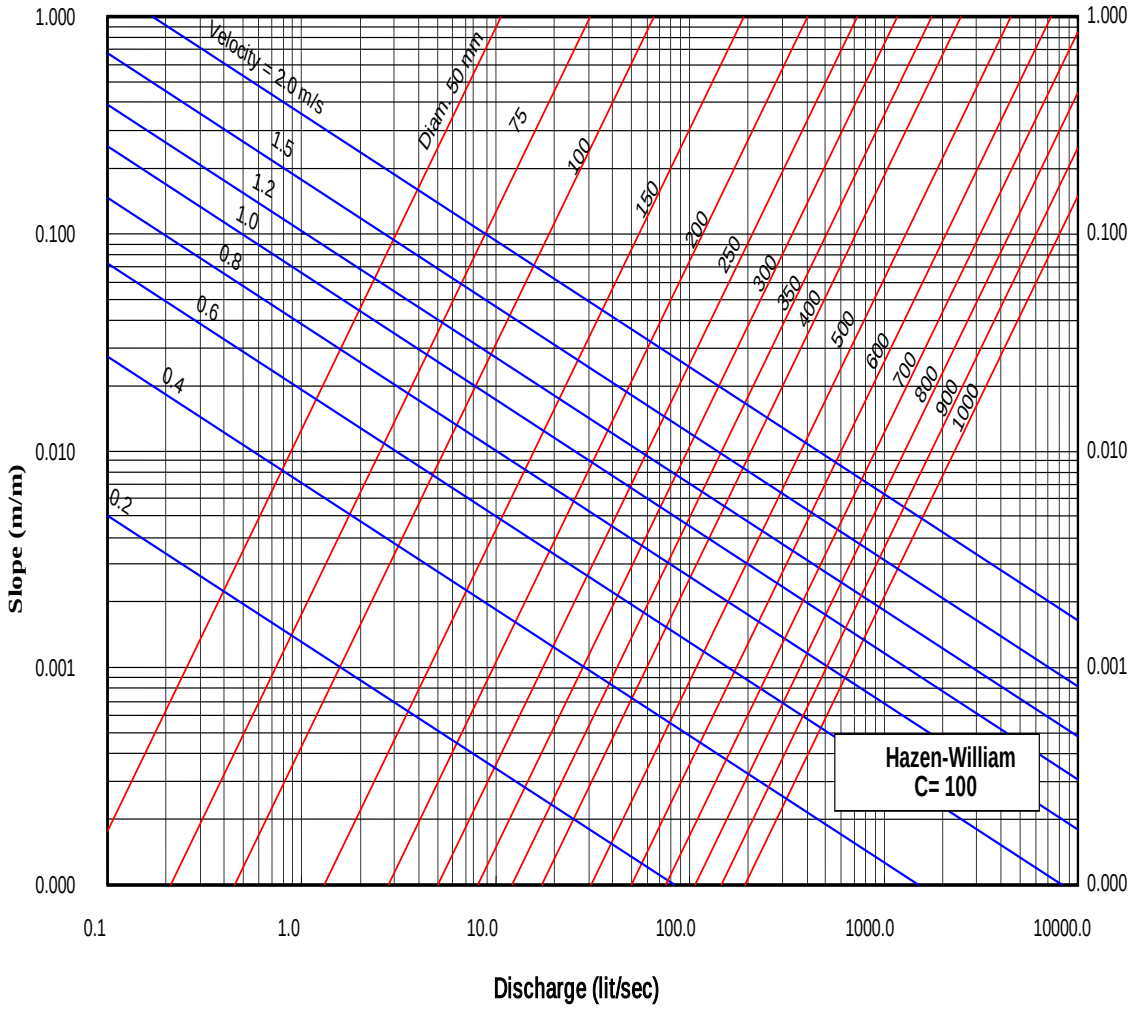
و منها يمكن استنتاج معادلة السرعة

$$V = 0.355 \times C \times D^{0.63} (\frac{H}{L})^{0.54} \qquad (7\text{-}8)$$

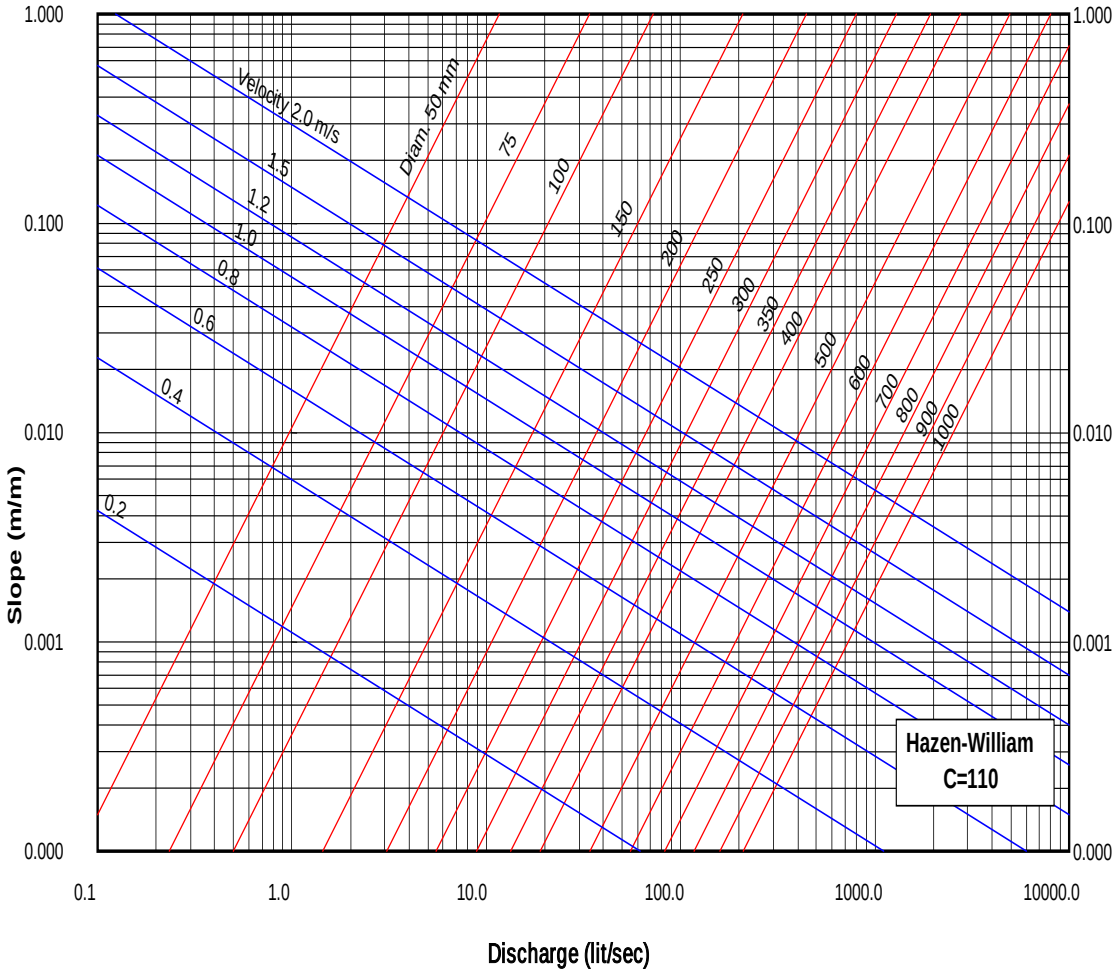
حيث :

C: معامل الاحتكاك لهازن - ويليامز وقيمة موضحة بالجدول (6-3)

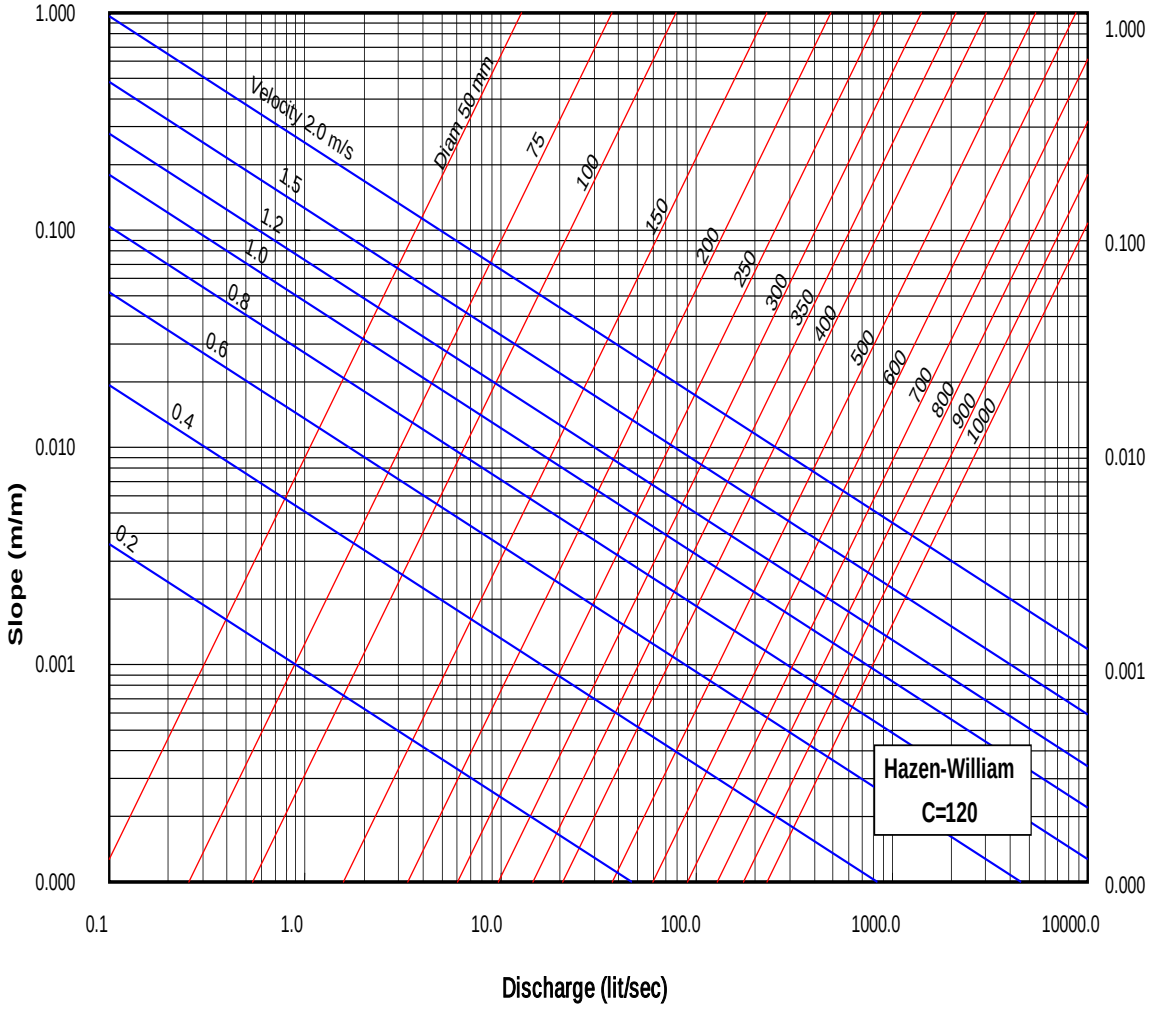
ويوضح الشكل رقم (8-1) و (8-2) و (8-3) المنحنيات الخاصة بمعادلة هازن – وليامز.



شكل (8-1): منحنى هازن وليامز عند C=100



شكل (8-2): منحنى هازن وليامز عند C=110



شكل (8-3): منحنى هازن وليامز عند C=120

جدول (8-1) قيم معامل الاحتكاك في معادلة هازن - ويليامز C

	نوع الماسورة	معامل C
- 1	اسبستوس أسمنتي	140
- 2	بلاستيك	150 – 155
- 3	بولستر مسلح بألياف الزجاج	150 – 155
- 4	خرسانة سابقة الإجهاد	140 – 145
- 5	خرسانة عادية	130 – 140
- 6	خرسانة مسلحة	130 – 140
- 7	زهر مرن	140 – 145
- 8	صلب	140 – 145
- 9	فخار مزجج	130

8-2-3 معادلة مانينج (Manning Formula)

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \qquad (8\text{-}8)$$

حيث:

V: سرعة التصرف (م/ث)

R: نصف القطر الهيدروليكى ($R = \frac{A}{P}$)

A: مساحة مقطع الماسورة (م ^{2})

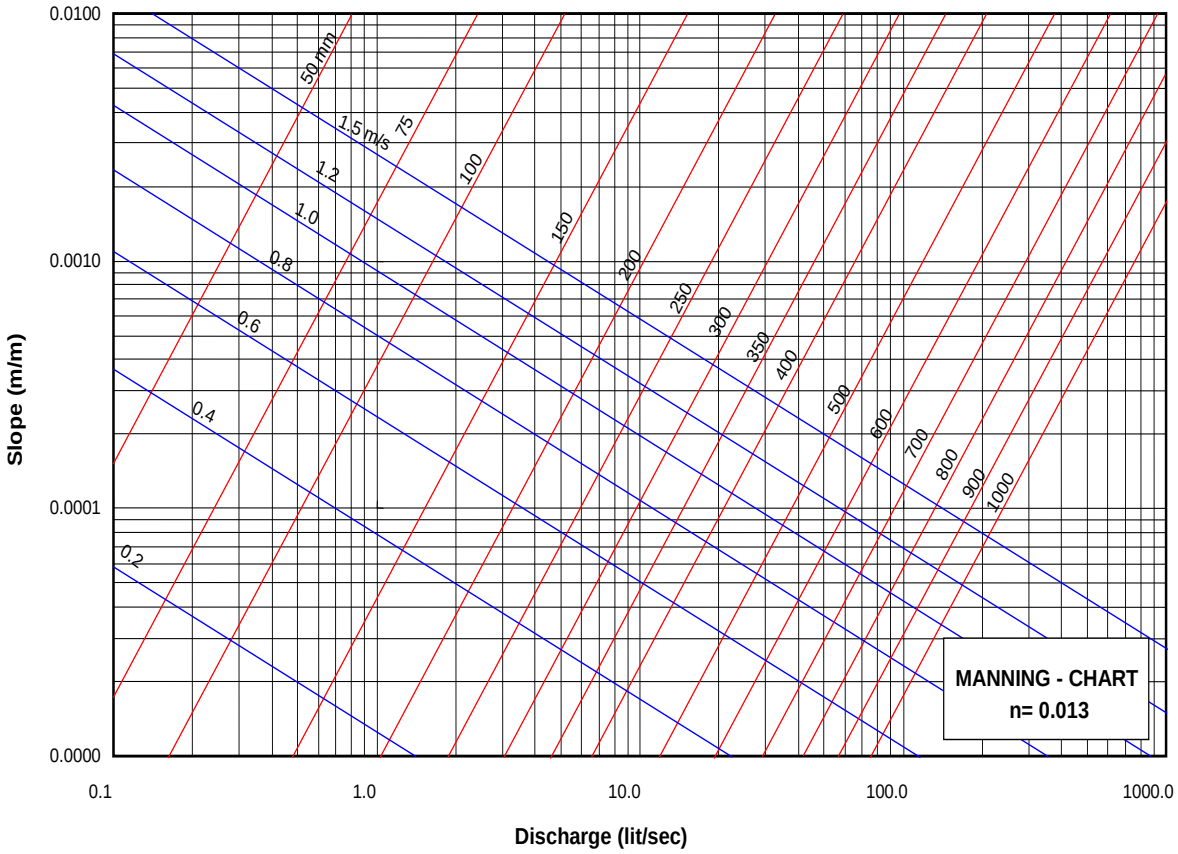
P: المحيط المبتل (م)

S: ميل الماسورة (م/م)

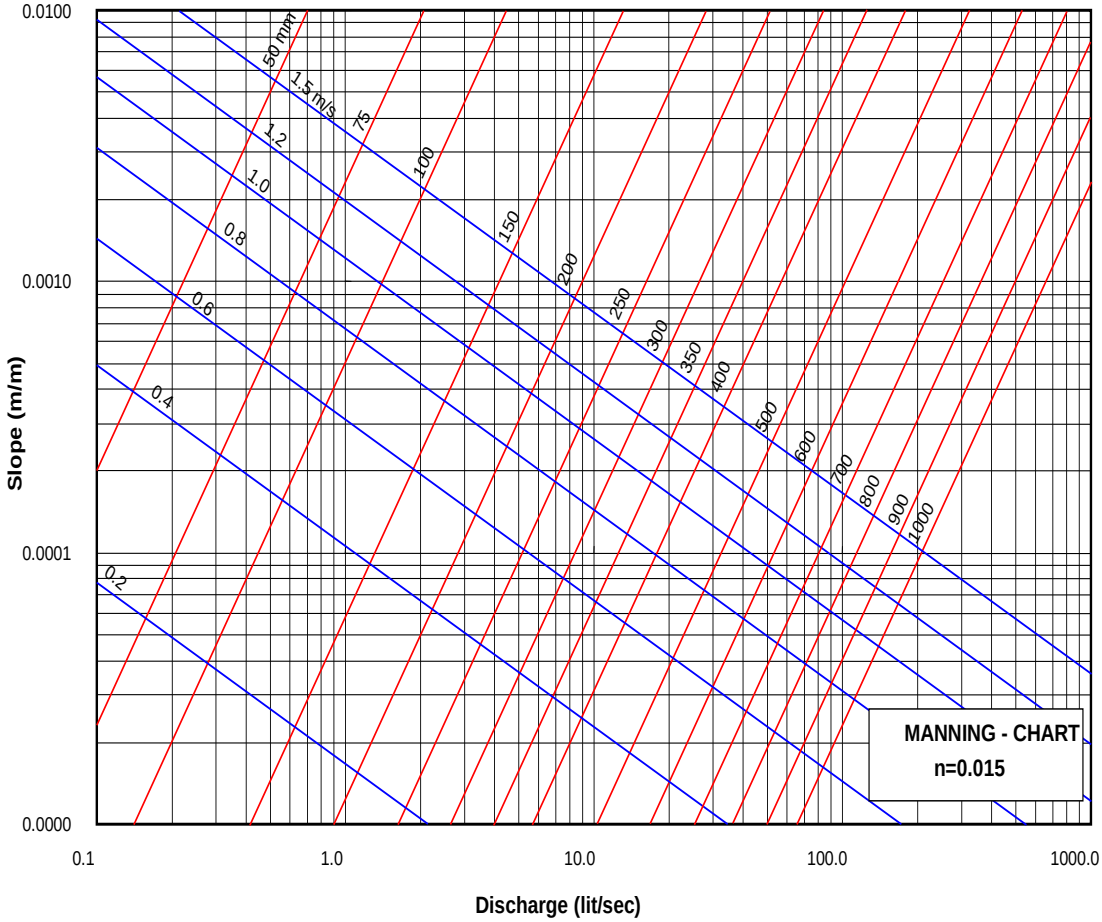
n: معامل الاحتكاك ويعتمد على نوع مادة الماسورة

ونظرا لصعوبة استخدام المعادلة فإنه يتم استخدام الشكلين أرقام (8-4) (8-5).

والجدول (8-2) يعطي قيم معامل الاحتكاك (n) في معادلة مانينج و كذلك قيم معامل الاحتكاك (f) في معادلة دارسي.



شكل (8-4): منحنى مانينج عند n=0.013



شكل (8-5): منحنى مانتج عند n=0.015

جدول (8-2): يحدد قيم معامل الاحتكك (n) في معادلة مانننج و قيم معامل الاحتكك (f) في معادلة دارسي.

رقم مسلسل	نوع الماسورة	معامل الاحتكك (f)	معامل الاحتكك (n)
- 1	اسبستوس أسمنتي	0.01 – 0.001	0.015 – 0.011
- 2	مواسير زهر		
	• غير مبطنة	0.0085	-
	• مبطنة بالإسفلت	0.0004	-
	• مبطنة بمونة الأسمنت	0.01 – 0.001	0.015 – 0.011
- 3	مواسير خرسانية	0.01 – 0.001	0.015 – 0.011
- 4	مواسير بلاستيك	0.01	0.015 – 0.011
- 5	مواسير فخار مزجج	0.01 – 0.001	0.015 – 0.011

اشتراطات يجب أخذها فى الاعتبار عند التصميم

- يتم تصميم مواسير الصرف الصحى بحيث تستوعب أقصى تصرف (Design Peak Flow) على أن تكون هذه المواسير مملؤة جزئيا حتى لا يحدث تحلل لاهوائى وتتراوح نسبة الامتلاء من 0.5 الى 0.8 من تصرف الامتلاء.

ومن واقع الخبرة العملية فإن نسبة الامتلاء تتغير تبعا لقطر الماسورة طبقا لما يلى:

جدول (8-5): نسبة الإمتلاء من واقع الخبرة العملية

قطر الماسورة (مم)	نسبة الامتلاء
175 ، 225	0.5
300 ، 375 ، 450 ، 600	0.67
≤ 800	0.8

- معامل الاحتكاك (n)

يفضل استعمال معامل احتكاك (n) = 0.013 بحيث يغطى كل أنواع المواسير.

- يجب أن تكون السرعة في مواسير الصرف كافية لمنع رسوب المواد العالقة في قاع الماسورة. و هي ما تسمى (Self-Cleaning Velocity) و قد وجد أن هذه السرعة يجب ألا تقل عن 60 سنتيمترا في الثانية ، عندما يكون التصرف في الماسورة مساويا للتصرف المتوسط في اليوم بينما في حالة أقصى تصرف جاف يجب ألا تقل السرعة عن 75 سنتيمترا في الثانية.

أما في حالة أدنى تصرف فيسمح بهبوط السرعة حتى 45 أو 50 سنتيمترا في الثانية ، و ذلك لأن المياه عندئذ تكون خالية نسبيا من المواد العالقة نظرا لأن هذا التصرف يحدث عادة في ساعات الليل حيث يكون مصدر أغلب المياه في الماسورة هو مياه الرشح.

وبذلك نضمن عدم حدوث أي ترسيب في جميع الحالات.

- أقل قطر ممكن لماسورة الصرف هو 175 مم أو 200 مم للوصلات المنزلية الصغيرة وذلك منعا لاحتمال سددها بما قد تحمله من مواد صلبة كبيرة.
- يتغير أقل ميل للماسورة حسب قطرها ويوضح جدول (8-6) أقل ميل مسموح به للماسورة.

جدول (6-6): أقل ميل مسموح به للمواسير

قطر الماسورة (مم)	أقل ميل للماسورة (م/م)
175	0.004
225	0.003
300	0.002
375	0.0015
450	0.0012
600	0.00075
800	0.00055
1000	0.00040
1200	0.00032
1500	0.00024

- المطابق

يجب وضع المطابق عند تغيير ميل الماسورة وقطرها وعند تغيير الاتجاه وعند التقاطعات وعند بداية كل ماسورة ويجب أن توضع أيضا على مسافات معينة تحدد بواسطة الكود المصرى بغرض إجراء أعمال الصيانة.

جدول (8-7): المسافة بين المطابق تبعا لقطر المواسير

قطر الماسورة (مم)	المسافة بين المطابق (م)
225 - 175	30
375 - 300	40
450	50
800 - 600	80
1200 - 100	100
أكبر من 1500	120

يجب إضافة مطبق بهدار فى حالة وجود الماسورة الداخلة أعلى على الأقل بـ 1 متر من الماسورة الخارجة من المطبق. ويجب أن يكون الهدار من النوع الخارجى.

عندما يكون هناك تغيير فى قطر الماسورة الداخلة عن الماسورة الخارجة يجب أن يتطابق الراسم العلوى لماسورة الدخول وماسورة الخروج.

يجب ألا يقل عمق المطبق عن 1.20 متر.

وبعد تحديد قيمة التصرف عند امتلاء الماسورة بحوالي 4.25 x أدنى تصرف . فأن تصميم ماسورة تجميع مياه الصرف الصحى هو فى الواقع تطبيق القوانين السابقة على ماسورة دائرية ممتلئة ولكن ليست تحت ضغط، هذه القوانين تحتوى على خمسة متغيرات S – n –D – V- Q إذا علم ثلاثة منها أمكن معرفة الاثنان الباقيان.

8-4 القطاعات الطولية لمواسير تجميع مياه الصرف الصحى بالانحدار الطبيعى

بعد إتمام تصميم مختلف مواسير الشبكة أي تعين القطر والميل يرسم قطاعات طولية لخطوط المواسير المختلفة

أ. منسوب الأرض الطبيعية أو منسوب أعلى الرصف.

ب. منسوب قاع الماسورة.

ج. عمق الحفر حتى قاع خندق الماسورة.

د. ميل المساورة.

ه. نوع مادة الماسورة .

و. أماكن تقاطع المواسير حيث ينشأ المطابق مع ترقيمها.

ز. أماكن المطابق مع ترقيمها على مسافات محددة سابقا ليمكن صرف المباني عليها وكذلك أجراء عمليات التفتيش والصيانة

ح. مواقع المنشآت المقامة على الخط.

ط. مواقع تعديات العوائق المختلفة (سكة حيدي- مجارى مائية – ترع مصارف- طرق رئيسية)

ي. توصيلات المباني المختلفة عليه.

ك. أساس المواسير ومناسيبه.

9	الفصل التاسع

تخطيط شبكات تجميع مياه الصرف الصحى

9-1 أنواع شبكات تجميع مياه الصرف الصحي

يتم تقسيم شبكات تجميع مياه الصرف الصحى تبعا لمصادرها وكمياتها وأيضا طبقا لطبوغرافية المدينة وكذلك للظروف المناخية والبيئية وفيما يلي نستعرض هذه الأنواع.

9-1-1 شبكات الصرف المشتركة (Combined)

وهى التى تنشأ فيها شبكة صرف موحدة لاستقبال كل المخلفات السائلة بجميع أنواعها سواء كانت مخلفات منزلية أو صناعية أو مياه أمطار أو مياه رشح وهذا النظام هو المستخدم فى تجميع المخلفات السائلة من معظم المدن المصرية .

9-1-2 شبكات الصرف المنفصلة (Separate)

وهى التى ينشأ فيها شبكة صرف لاستقبال المخلفات السائلة المنزلية والمخلفات الصناعية وتنشأ فى نفس الوقت شبكة أخرى لاستقبال مياه الأمطار.

9-1-3 شبكات الصرف المشتركة جزئيا

وتستخدم لتجميع المخلفات المنزلية والصناعية وصرف بعض الأسطح والممرات الداخلية. وتنشأ فى بعض الأحيان شبكات لتجميع المخلفات السائلة

تم تنشأ هدارات على مواسير التجميع الرئيسية فى نقط محددة لتحويل الزيادة فى التصرفات أثناء العواصف الممطرة الشديدة إلى أماكن صرف مثل مخرات السيول أو المسطحات المائية مثل البحيرات أو البحار أو المجارى المائية المجاورة.

وفيما يلي الأحوال التى يتم فيها استخدام كل طريقة من الطرق السابقة:-

9-1-4 الأحوال التى تستعمل فيها شبكات الصرف المشتركة

فى الشوارع و الطرقات المزدحمة بالخدمات العامة الأخرى كمواسير شبكات توزيع مياه الشرب و كابلات الكهرباء والتليفونات وشبكة مواسير توزيع الغاز مما يصعب معه وضع ماسورتين صرف كل منهما لغرض خاص ولذا تستعمل فى هذه الحالة ماسورة واحدة لصرف المخلفات السائلة بمختلف أنواعها.

إذا كان سقوط الأمطار نادرا ويخشى أن تبقى شبكة مياه الأمطار خالية دون استعمال معظم أيام العام.

إذا كان هطول الأمطار بكثرة وغزارة مما يجعل كمية المخلفات السائلة المنزلية والصناعية بسيطة بالنسبة لمياه الأمطار مما يشجع على إدماجها جميعا طالما أن كمية المخلفات المنزلية والصناعية صغيرة و لا تؤثر فى حجم تكاليف إنشاء شبكة مواسير صرف مياه الأمطار.

إذا ظهر أن كل من المخلفات المنزلية والصناعية وكذلك مياه الأمطار لا بد من رفعها باستخدام الطلمبات إلى نفس المكان ففي هذه الحالة لا يوجد داعي لفصل مياه الأمطار عن

بقية المخلفات السائلة.

إذا كانت الأرض سطحية مما يضطرنا لوضع المواسير بانحدار بسيط منعا للوصول بالمواسير إلى أعماق كبيرة الأمر الذي قد يسبب جريان الماء فى

المواسير بسرعة بطيئة مما ينتج عنها ترسيب للمواد العالقة فى قاع الماسورة وتفاديا لهذه الحالة تتبع طريقة الصرف المشترك مما يزيد التصرف المار فى الماسورة بالتبعية يزيد من سرعة جريان الماء بالرغم من وضعها بانحدار بسيط نظراً لكبر حجم المواسير.

إذا كانت درجة الحرارة مرتفعة أثناء فترة هطول الأمطار ويخشى تحلل المخلفات السائلة أثناء سيرها مدة طويلة فى شبكة المواسير وتفاديا لهذه الحالة تتبع طريقة الصرف المشتركة مما يزيد التصرف المار فى الماسورة وبالتبعية يزيد من سرعة جريان الماء مما يمنع تحللها فى الماسورة قبلل وصولها إلى محطة الرفع ومنها إلى موقع وحدات المعالجة.

9-1-5 الأحوال التى تستعمل فيها شبكات الصرف المنفصلة

إذا أمكن صرف مياه الأمطار بالانحدار الطبيعي فى مصرف زراعي أو مجرى مائى مثل الأنهار والترع أو المسطحات المائية مثل البحيرات فيمكن فى هذه الحالة إنشاء شبكة صرف منفصلة.

إذا كانت تكاليف معالجة المخلفات السائلة مرتفعة ففي هذه الحالة يستحسن فصل مياه الأمطار عن المخلفات الأخرى للتخلص منها دون معالجة وذلك اقتصادا فى تكاليف إنشاء وحدات المعالجة.

عند تواجد شبكة صرف لمياه الأمطار قبل إنشاء مشروع صرف المخلفات السائلة فعندئذ يحسن الإبقاء على هذه الشبكة لتقوم بالخدمة التى أنشأت لها فعلا مع إنشاء شبكة جديدة تكفى لصرف المخلفات السائلة الأخرى فقط.

جدول (9 - 1) : مميزات وعيوب أنظمة شبكات تجميع مياه الصرف الصحى

النظام	المميزات	العيوب
الشبكة المنفصلة	• أقطار المواسير صغيرة أقل تكاليف أسهل فى التصميم	عدم تحقيق سرعة التنظيف الذاتية ولذلك لابد من استخدام أحواض الدفق
	ضمان عدم تلوث المسطحات المائية المجاورة لشبكة التجميع المنفصلة	مضاعفة إنشاء الوصلات المنزلية و كذلك تنفيذ شبكتين وما يترتب عليه من تكاليف باهظة إنشاء أعمال تفادى تقاطعات الشبكتين
	كمية مياه الصرف الصحى المطلوب معالجتها محدودة) بالتالي فأن أعمال المعالجة وأعمال التخلص من الفائض لذلك فتكاليف الإنشاء أقل	تكاليف التشغيل والصيانة لشبكتين سوف تكون أكبر من تشغيل شبكة واحدة
	تكاليف رفع مياه الصرف الصحى سوف تقل ألا إذا تطلب لأمر رفع مياه العواصف والأمطار كذلك.	
الشبكة المجمعة	خلط مياه الأمطار مع مياه الصرف الصحى تجعلها سهلة المعالجة وبالتالي تكاليف المعالجة اقتصادية	كمية مياه الأمطار الكبيرة مما يتطلب أعمال الحفر والردم كبيره وكذلك الإنشاءات مما يزيد التكاليف .

	خلط مياه الأمطار مع مياه الصرف الصحى يخفف درجة التلوث وبالتالي قد لا تحتاج إلى معالجة ابتدائية ويقتصر بالمعالجة البيولوجية.	نظرا لصغر كمية التصرف الجاف وكبر أقطار المواسير قد يسبب ترسيب للمواد العالقة بالمياه الملوثة مما يتطلب الأمر أعمال النظافة المستمرة للشبكة فى موسم الجاف كما أن تراكمها قد يسبب تعفنها اللاهوائى ويتصاعد غاز ثاني أكسيد الكبريت والذى يتحد مع بخار الماء الموجود على المواسير الجزء العلوي الداخلي الغير مملوء مكونا حامض الكبريتيك مما يسبب تآكل الجزء العلوي من المواسير.
	نظرا لضخامة كمية مياه الصرف الصحى مع مياه الأمطار مما يجعل أقطار المواسير كبيرة وبالتالي يسهل عمليات التنظيف	التكاليف لتشغيل والصيانة للشبكة ومحطات الرفع وخطوط الطرد ووحدات المعالجة كبيرة.
	الوصلات المنزلية واحدة مما يقلل التكاليف	فى الحالات الحرجة يحدث فيضان للشبكة مما يسبب خطورة على الصحة العامة
المنفصلة	الوصلات المنزلية بسيطة	السرعات المنخفضة لسريان مياه الصرف الصحى أثناء موسم الجفاف بسبب تراكم المواد العضوية المترسبة.

	شبكة تجميع مياه الصرف الصحى متوسطة الحجم وبالتالي اقتصادية التكاليف	احتمال حدوث فيضان للشبكة قد يسبب خطر على الصحة العامة
	سريان مياه الأمطار مع مياه الصرف الصحى يسبب نظافة المواسير من المواد المترسبة بقاع الماسورة.	

2-9 تخطيط شبكات تجميع مياه الصرف الصحى

تتكون شبكة التجميع من المواسير تسير فيها المخلفات السائلة بالانحدار الطبيعي فتصب المواسير الصغرى فى المواسير الكبرى وهكذا حتى تصب فى النهاية فى المجمعات الرئيسية التى تؤدى بدورها إلى محطات الرفع التى تضخها فى المواسير الصاعدة إلى موقع وحدات المعالجة ثم التخلص منها بعد العلاج تبعا للظروف الخاصة بكل مدينة ويتحدد شكل شبكات تجميع مياه الصرف الصحى بالظروف الطبوغرافية للمدينة وكذلك الموقع المحدد لإنشاء وحدات المعالجة وأيضا أماكن الاستفادة أو التخلص من السيب . وبالاستعانة بالخرائط الكنتورية للمخطط العام للمدينة والمناطق المحيطة يمكن تخطيط شبكة تجميع مياه الصرف الصحى.

ويجب الأخذ فى الاعتبار عند التخطيط الملاحظات الفنية التالية:

يفضل أن تكون المواسير الفرعية عمودية على خطوط الكنتور أى أن تكون مع الانحدار الطبيعي للأرض وذلك نظرا للانحدار الكبير لها أما الخطوط أو

المجمعات الرئيسية فيمكن أن تكون موازية لخطوط الكنتور حيث أن ميلها صغير وذلك لتجنب زيادة مكعبات الحفر والردم.

تجنب المسار فى الأراضي الصخرية أو ضعيفة التربة أو مرتفعة مناسيب المياه الجوفية (مياه الرشح).

تجنب تعديات خطوط السكك الحديدية أو الشوارع المزدحمة وكذلك يجنب اختيار مواقع محطات الرفع الفرعية بالشوارع الضيقة أو المقام على جوانبها مباني ضعيفة الإنشاء.

الاعتماد على سير المياه بالشبكة بالانحدار الطبيعي.

يجب أن يكون وصول المخلفات السائلة بالشبكات فى اقصر وقت إلى موقع محطات الرفع وبالتالي إلى موقع وحدات المعالجة.

اختيار مواقع أعمال المعالجة بعيدا عن الامتداد العمراني المنتظر وفى أراضى غير زراعية وغير مرتفعة الثمن كما يجب أن يكون الموقع عكس اتجاه الرياح حتى يمكن تجنب الروائح المنبعثة من هذا الموقع ويفضل أن تكون قريبة من أماكن الاستفادة أو التخلص من السيب * كما يجب ألا تقل المسافة بين محطة المعالجة والكتلة السكانية عن 1 كم.

وبشكل عام ينقسم تخطيط شبكات تجميع المياه الملوثة إلى أربعة أنظمة للتخطيط.

1-2-9 التخطيط العمودي

يستعمل هذا النظام عندما تكون طبوغرافيه المدينة ذات ميل واحد وفى هذه الحالة يتم إنشاء المجمع الرئيسي فى الاتجاه المنخفض المنسوب.

* لفظ (السيب) هو المياه الملوثة بعد معالجتها.

9-2-2 التخطيط المروحي

طريقة التخطيط المروحي وهو يعتمد فى الأساس على طبوغرافية المدينة أو أجزاء منها.

9-2-3 التخطيط الإشعاعي (المحوري)

فى هذا التخطيط يتم تجميع مياه الصرف الصحى من مركز المدينة إلى محيطها وتحتاج فى هذه الحالة إلى عدة محطات لمعالجة مياه الصرف الصحى. وفى حالة منسوب المدينة المنخفض فى وسط المدينه يتم تجميع مياه الصرف الصحى من الحدود الخارجية إلى مركز المدينة المنخفض المنسوب ويتم إنشاء محطة رفع رئيسية فى مركز المدينة ويتم ضخ مياه الصرف الصحى المتجمعة فى خطوط الطرد إلى موقع وحدات المعالجة.

9-2-4 التخطيط بتقسيم المدينة إلى مناطق صرف

ينفذ هذا التخطيط فى المدن ذات الاختلافات الواضحة فى مناسيب الأحياء فيها لذلك تقسم المدينة إلى عدة مناطق ينشأ بكل منها مجمع رئيسي يصل إلى محطة الرفع الخاصة به وتضخ مياه الصرف الصحى المتجمعة مباشرة إلى موقع وحدات المعالجة ويمكن صرف الأحياء المخفضة الصغيرة إما إلى المجمع الرئيسي للمنطقة المجاورة أو إلى أقرب محطة رفع.

9 3 تخطيط شبكة الصرف الصحى فى منطقة المشروع

يتم تخطيط شبكة تجميع مياه الصرف الصحى فى منطقة المشروع طبقا للخطوات التالية:

بعد إنتهاء أعمال الرفع المساحى يتم إنتاج مساقط أفقية لمنطقة المشروع بمقياس رسم 1 : 500 أو 1 : 1000 موقعا عليها المناسيب المساحية كل 25 متر تقريبا وموضحا عليها كل الشوارع والمنشآت والكبارى والأنفاق والترع والسكة الحديد والطرق السريعة.

يتم وضع مواسير الصرف الصحى على المساقط الأفقية بداية من المناطق ذات المناسيب الأعلى وذلك حتى المناطق المنخفضة المنسوب.

يتم تحديد مواقع محطات الضخ المختلفة.

يتم تحديد مسارات خطوط الطرد من مواقع محطات الضخ وذلك حتى موقع محطة معالجة مياه الصرف الصحى.

يتم التنسيق مع الجهات الرسمية والجهات المختلفة للحصول على موافقتها على مواقع محطات الضخ وموقع محطة المعالجة وأيضا مسارات خط الطرد.

يتم تحديد المجمعات الكبيرة للصرف الصحى وتسميتها.

يتم وضع المطابق على خطوط الصرف الصحى الصغيرة (Sewer Line) وأيضا المجمعات الكبيرة.

يتم ترقيم المطابق على كل خط.

يتم تحديد منسوب سطح الأرض عند كل مطبق

تدريب عملـــــى

تخطيط و تصميم شبكتى المياه و الصرف الصحى

لحى الأفق بطريق القاهرة – الإسكندرية الصحراوى

1- مقدمة

يقع حى الأفق ضمن إحدى مشروعات تنمية جانبى الطريق الصحراوى ما بين القاهرة و الإسكندرية و تبلغ مساحة حى الأفق حوالى 400 فدان مقسمة إلى قطع أراضى و قد تم الإنتهاء من تصميم الطرق بين قطع الأراضى و المطلوب تخطيط و تصميم شبكتى المياه و الصرف الصحى

أنظر الرسم المرفق

2- السكان

يبلغ عدد سكان حى الأفق 5000 نسمة لسنة 2007 و يزداد بمعدل 1.2 % للعام حتى سنة الهدف 2050

3- تخطيط وتصميم شبكة التغذية بالمياه

1-3 اعتبارات تصميمية

- مأخذ المياه للحى هو خط مياه الشرب الرئيسي قطر 500مم فى المار بطرق القاهرة - الإسكندرية
- الضغوط عند نقطة التغذية 5 بار.
- يتم تصميم الخطوط الرئيسية على أساس منحنى فاقد هيدروليكى 4-6 م/كم. (السرعة من 0.8 حتى 1.2 م/ث)- الضغوط بالشبكة لاتقل عن 2 بار.
- إستهلاك الفرد المتوسط = 250 لتر/فرد/يوم
- معدل أقصى تصرف يومى = 1.8 من الإستهلاك المتوسط
- معدل أقصى تصرف ساعة = 2.5 من الإستهلاك المتوسط

1-3 المخرجات

1 -النوتة الحسابية المختصرة لتصميم شبكة التغذية بالمياه
2 -لوحة المخطط العام لشبكة التغذية بالمياه موضحا عليه أقطار المواسير والمحابس وحنفيات الحريق.
3 -تصميم خزان أرضى لمدة تخزين 2 يوم من الإستهلاك اليومى بالإضافة إلى إستهلاك مياه الحريق

4- تخطيط وتصميم شبكة الصرف الصحى

- يتم تجميع مياه الصرف الصحى على محطة رفع يتم تحديد موقعها تبعا لمناسيب الأرض و يتم رفع مياه الصرف الصحى فى خط طرد إلى محطة المعالجة على بعد 10 كم ليصب فى مدخل المصافى على منسوب (+90.00)
- خط الطرد بطول 10 كم و من الزهر المرن (C= 140)
- كمية مياه الصرف = 0.9 من كمية مياه الشرب
- يتم إهمال مياه اللأمطار و الرشح نظرا اندرة الأمطار و إنخفاض منسوب المياه الجوفية

4-1 المخرجات

1 -النوتة الحسابية المختصرة لتصميم شبكة الصرف الصحى و محطة الرفع (حجم بيارة التجميع و تصرف و رافع الطلمبات) و خط الطرد
2 -لوحة المخطط العام لشبكة الصرف الصحى موضحا عليه أقطار المواسير و توزيع المطابق و موقع محطة الرفع
3 -رسم قطاع طولى لعدد 10 مطابق من الخط الرئيسى

Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH
Water & Wastewater Management Program
Holding Company for Water and Wastewater (HCWW),
Corniche El Nil, Water Treatment Plant-Road El Farag
Tel.: +2 02 245 98 405/411
Fax: +2 02 245 98 405/411
Website: www.gtz.de

الوكالة الألمانية للتعاون الفني
برنامج إدارة مياه الشرب و الصرف الصحي
الشركة القابضة لمياه الشرب و الصرف الصحي
كورنيش النيل محطة مياه رياض الفرج
تليفون : ٠٠٢٠٢ ٢٤٥ ٩٨ ٤٠٥/٤١١
فاكس: ٠٠٢٠٢ ٢٤٥ ٩٨ ٤٠٥/٤١١
موقع إلكتروني: www.gtz.de