Sanitary Engineering Project

Wastewater Networks

&

Storm Water Networks

Prepared By:

Eng.Ahmed S. Al-Agha

2014-2015

Design of Wastewater Networks

شبكات تصريف مياه الصرف الصحي (Wastewater Networks)

بعد تزويد المستهلكين بالمياه اللازمة لهم (المياه الصالحة للشرب) كما تعلمنا في مشروع مساق (Hydraulics) فإن المستهلكين يقوموا باستخدام هذه المياه في أماكن مختلفة ولأغراض مختلفة، مثل استخدامها في المباني السكنية لعمليات الغسل والتنظيف والاستحمام وغيرها ، واستخدامها في المصانع والمستشفيات وغيرها. المياه الناتجة عن عملية الاستخدام هي مياه ملوثة وضارة بالبيئة (مياه عادمة) لأنها نواتج من عمليات التنظيف وعمليات الاستخدام في الحمامات وغيرها، بالتالي لا بد من التخلص من هذه المياه بطريقة سليمة لا تضر بالبيئة.

إن الهدف الأساسي من شبكات الصرف الصحي هو تصريف المياه الملوثة (المياه العادمة) من مختلف المناطق (مناطق سكنية، منشآت صناعية وتجارية، مباني عامة من مستشفيات ومدارس ومراكز ثقافية ومناطق زراعية وغيرها) بطريقة آمنة تضمن الحفاظ على نظافة البيئة، هذه الطريقة الآمنة هي عبارة عن إنشاء **شبكة لتصريف مياه الصرف الصحي** والتي هي عبارة عن مجموعة من الأنابيب (Pipes) المتشعبة والتي تبدأ من المصدر الأساسي وهو أماكن المستخدمين مثل المنازل والمستشفيات وغيرها ويتم تجميعها في نقاط تجميع (Manholes) ليتم نقلها إلى أنابيب ناقلة أكبر لتنتهي في النهاية في حوض تجميعي لجميع هذه المياه (Treatment Plant) ليتم معالجتها وإعادة استخدامها.

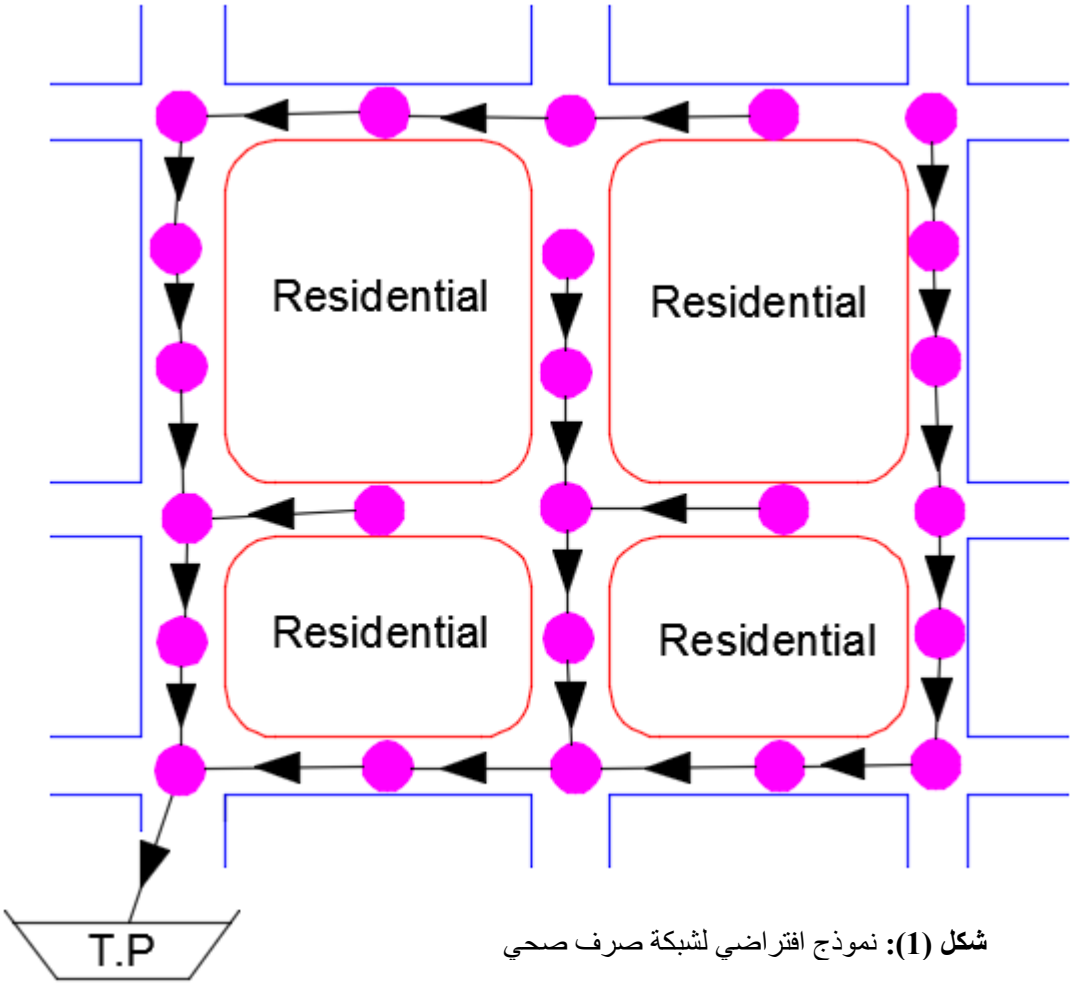
العناصر الأساسية لشبكات الصرف الصحي

1. **الأنابيب (Pipes):** وهي الخطوط الناقلة للمياه العادمة من مصدر المياه الرئيسي (أماكن المستخدمين من منازل ومستشفيات وغيرها) ومن نقطة تجميع لأخرى انتهاء بالأنبوب النهائي الواصل بين الشبكة وحوض المعالجة.
2. **نقاط التجميع (Manholes):** وهي عبارة عن نقاط تجميع المياه العادمة من منازل المستهلكين. وهي قد تكون نقاط التقاء(تقاطع) الأنابيب أو قد تكون في نهاية الأنابيب.
3. **حوض معالجة (Treatment Plant):** له حجم معين والغرض منه تجميع جميع المياه العادمة القادمة من المدينة لمعالجتها وإعادة استخدامها في أعمال الزراعة مثلا.

ملاحظة:

سوف يتم تصميم شبكة الصرف الصحي بالاعتماد بشكل أساسي على حركة المياه عن طريق الجاذبية (By gravity) أي انتقال المياه من المنسوب المرتفع إلى المنسوب المنخفض، على خلاف مشروع توزيع المياه في مساق (Hydraulics) حيث كان الاعتماد على حركة المياه بواسطة الضغط الناشئ عن المضخات، بالتالي هنا (في مشروع الصرف الصحي) لا نحتاج إلى مضخات لضخ المياه لأننا نعتمد على حركة المياه عن طريق الجاذبية.

الشكل التالي **(شكل رقم 1)** يوضح نموذج لشبكة صرف صحي تحتوي على العناصر التي تم ذكرها بالأعلى:



شكل (1): نموذج افتراضي لشبكة صرف صحي

مراحل تصميم شبكات الصرف الصحي

1. **مرحلة الدراسات الأولية (جمع البيانات) Preliminary Study**
2. **مرحلة تخطيط الشبكة Network Layout**
3. **مرحلة التحليل والتصميم الهيدروليكي للشبكة Hydraulic Analysis and Design**

والآن سوف يتم دراسة كل مرحلة من المراحل الثلاث المذكورة أعلاه بالتفصيل الدقيق.

مرحلة الدراسات الأولية (جمع البيانات) Preliminary Study

تعتبر هذه المرحلة من أطول المراحل وأهمها حيث تشتمل على العديد من الخطوات وهي:

1. دراسة طبوغرافية للمنطقة (Topographic Study) وتشمل:

- ✓ **تحضير مخطط هيكلي للمنطقة (Master Plan or Land Use):** بحيث يوضح توزيع الأراضي في المنطقة من مناطق سكنية ومناطق تجارية ومناطق عامة ومدارس ومستشفيات... لأن استهلاك الناس للمياه في كل منطقة من هذه المناطق يختلف عن الأخرى.

✓ **تحضير خريطة كنتورية للمنطقة (Contour Map):** بحيث توضح خطوط الكنتور للمنطقة و تلزم هذه الخريطة في إيجاد المناسيب لتحديد اتجاه سريان المياه في الأنابيب (من المنسوب المرتفع للمنسوب المنخفض).

2. دراسة ديموغرافية للمنطقة (Demographic Study):

وهي عبارة عن عملية التنبؤ بعدد السكان المستقبلي في المنطقة و معرفة معدل الزيادة الطبيعية للسكان خلال **فترة حياة المشروع**.

قبل الشروع بحساب عدد السكان المستقبلي، في البداية سوف يتم التعرف على **فترة حياة المشروع:** هي الفترة الزمنية التي تعمل خلالها عناصر الشبكة بكفاءة عالية، وتنتهي هذه الفترة عندما تصبح تكلفة تشغيل وصيانة الشبكة أكبر من تكلفة إنشاء شبكة جديدة مماثلة لها وبالتالي فإننا نصمم الشبكة لهذه الفترة التصميمية والتي تكون في العادة (في شبكات الصرف الصحي) من **20 إلى 30 سنة**.

حساب عدد السكان خلال الفترة التصميمية:

من المعلوم أنه يتم تصميم شبكة توزيع الصرف الصحي لفترة تصميمية لا تقل عن 20 سنة وبالتالي فإن عدد السكان خلال 20 سنة يكون أكبر من عدد السكان الحالي (لأن معدل المواليد أكبر من معدل الوفيات) وبالتالي فإن إنتاج السكان للمياه العادمة بعد 20 سنة يكون أكبر من الإنتاج الحالي، لذلك لا بد من حساب عدد السكان خلال 20 سنة مثلا ومن ثم حساب إنتاج السكان للمياه العادمة خلال هذه الفترة لتصميم عناصر الشبكة بما يتناسب مع هذا الإنتاج.

يتم جمع البيانات الخاصة بتعداد السكان ومعدلات النمو الطبيعية للسكان من مركز الإحصاء الفلسطيني للسكان حيث يوضح **الجدول التالي** توقع مركز الإحصاء الفلسطيني لمعدلات النمو السكاني وعدد السكان في فلسطين (الضفة الغربية وقطاع غزة) خلال فترات زمنية مختلفة:

العام	2000	2010	2040
معدل النمو الطبيعي	3%	2.5%	2%
عدد السكان المتوقع	2,373,000	4,061,000	7,724,000

جدول (1): توقع مركز الإحصاء الفلسطيني

يتم حساب عدد السكان بطريقتين ويتم أخذ عدد السكان الأصغر من الطريقتين

1. الكثافة السكانية المتوقعة الناتجة عن الزيادة الطبيعية للسكان:

توجد طرق كثيرة لحساب عدد السكان نتيجة للزيادة الطبيعية وأهم هذه الطرق:

أ. الطريقة الرياضية (Arithmetic Increase Method):

تفترض هذه الطريقة أن الزيادة في الكثافة السكانية هي زيادة منتظمة حسب المعادلة التالية:

$$P_f = P_o \times (1 + kt)$$

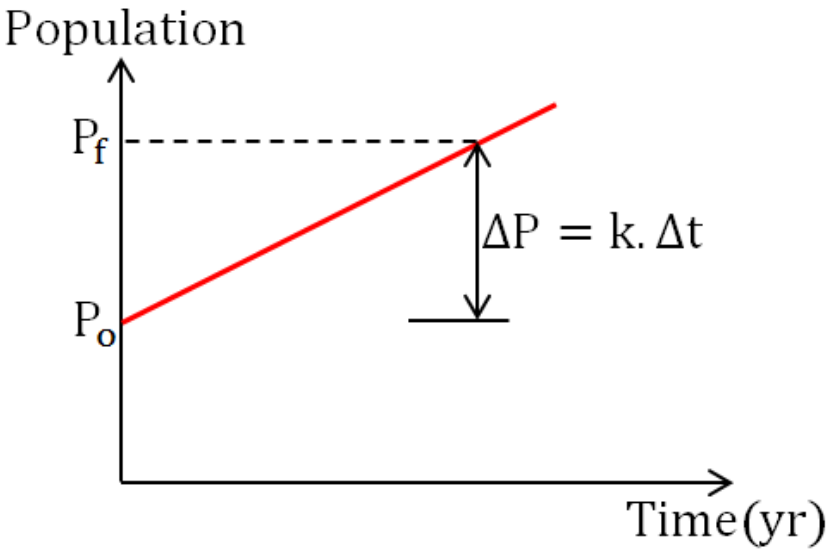
P_f : عدد السكان في المستقبل (أي بعد الفترة التصميمية t).

P_o : عدد السكان الحالي.

k : معدل النمو الطبيعي للسكان حيث أن $\frac{\Delta P}{\Delta t} = k = \text{constant}$ حسب هذه الطريقة.

t : الفترة التصميمية للمشروع.

شكل رقم (2) يوضح العلاقة الخطية بين تعداد السكان والزمن نتيجة لثبات معدل النمو السكاني.



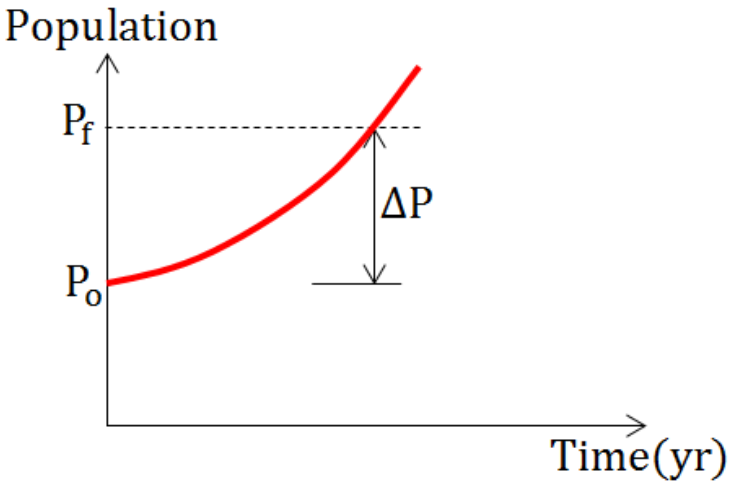
شكل (2): العلاقة الخطية بين عدد السكان والزمن (الطريقة الرياضية)

ب.طريقة المنحنيات التوقعية (Predicted Curves Method):

وتسمى أيضا Curvilinear Method حيث أن العلاقة بين عدد السكان والزمن ليست خطية بل هي علاقة (Curvilinear) وبالتالي فإن معدل زيادة السكان ليس معدل ثابت مع الزمن. حيث يتم حساب عدد السكان بناء على هذه الطريقة من المعادلة التالية:

$$P_f = P_o \times (1 + k)^t$$

شكل رقم (3) يوضح العلاقة الغير خطية بين تعداد السكان والزمن بناء على هذه الطريقة.



شكل (3): Curvilinear Method

ملاحظة:

الطريقة الثانية (Curvilinear Method) تعطي نتائج أقرب للواقع من الطريقة الأولى (Arithmetic Mean Method) وبالتالي هي الطريقة التي سيتم اعتمادها في حسابات المشروع.

2. الكثافة السكانية المتوقعة الناتجة عن التشبع السكاني:

هي أقصى كثافة سكانية يمكن أن تستوعبها المنطقة نتيجة لتشبعها بأقصى عدد ممكن من السكان.

المثال التالي يوضح كيفية حساب عدد السكان بناء على التشبع السكاني:

لنفترض أننا نريد حساب عدد السكان (بناء على التشبع السكاني) لمدينة مساحتها $100{,}000\ m^2$

- 25% من المساحة الكلية مخصصة للشوارع.
- 5% من المساحة الكلية مخصصة للمناطق الخضراء والمباني العامة.
- 70% من المساحة الكلية مخصصة للمباني السكنية (60% منها (ال70%) يتم البناء عليها فعليا و 40% تكون للارتدادات) وبالتالي:

$$\text{Area Specified for Buildings} = 100{,}000 \times 0.7 = 70{,}000\ m^2$$

$$\text{Actual Buildings Area} = 70{,}000 \times 0.6 = 42{,}000\ m^2$$

متوسط عدد الشقق $= 5$ شقق في المبنى.

$$\text{Total area (for all stories)} = 42{,}000 \times 5 = 210{,}000\ m^2$$

متوسط مساحة الشقة الواحدة $= 150\ m^2$

$$\#\ \text{of Flats} = \frac{210{,}000}{150} = 1400\ \text{Flat}$$

متوسط عدد الأفراد في الشقة الواحدة $= 7$ أفراد

$$\text{Population} = 1400\ \text{Flat} \times 7\frac{\text{Person}}{\text{Flat}} = 9800\ \text{person or capita}$$

ملاحظة هامة:

يتم تقدير المساحة المخصصة للبناء على أنها 70% من المساحة الكلية للمنطقة في حال عدم توفر المخطط الهيكلي للمنطقة، لكن في حال توفر المخطط الهيكلي للمنطقة يتم حساب مساحة المنطقة المخصصة للمباني حسب ما هو موجود في المخطط الهيكلي، وبعد ذلك يتم خصم الارتدادات.

حساب عدد السكان لحي البراق (كمثال واقعي)

الفترة التصميمية $= 25$ سنة من سنة 2015 (2040)

عدد السكان سنة 2007 $= 8800$ نسمة

معدل النمو السكاني $= 2.5$ %

المساحة الكلية للحي $\cong 510{,}000\ m^2$ (تم حسابها من المخطط الهيكلي من خلال برنامج الأوتوكاد).

حسب المخطط الهيكلي لحي البراق، فإن المباني السكنية مقسمة إلى قسمين (أبراج ومباني سكنية عادية) وتبلغ مساحة كل منهم كما يلي:

مساحة الأبراج $\cong 60{,}929\ m^2$

مساحة المباني السكنية $\cong$ $178{,}104\ m^2$

ملاحظة:

سوف يتم إرفاق المخطط الهيكلي (يشمل الخريطة الكنتورية) لحي البراق مع ملف الشرح في ملف مضغوط .

1. حساب عدد السكان بناء على طريقة الزيادة الطبيعية:

باستخدام طريقة المنحنيات التوقعية:

$$P_o = 8800\ ,\ t = 25 + (2015 - 2007) = 33\ yr\ ,\ k = 2.5\% = 0.025$$

$$P_f = P_o \times (1 + k)^t = 8800 \times (1 + 0.025)^{33} = \mathbf{19{,}878\ capita}$$

2. حساب عدد السكان بناء على طريقة التشبع:

أ. للأبراج:

$$\text{Area Specified for Buildings} = 60{,}929\ m^2 \text{ (from autocad)}$$

$$\text{Actual Buildings Area} = 60{,}929 \times 0.6 = 36{,}557.4\ m^2$$

متوسط عدد الشقق $= 8$ شقق في المبنى (في الأبراج).

$$\text{Total area (for all stories)} = 36{,}557.4 \times 8 = 292{,}459.2\ m^2$$

متوسط مساحة الشقة الواحدة $= 140\ m^2$ (في الأبراج)

$$\#\ \text{of Flats} = \frac{292{,}459.2}{140} = 2089\ \text{Flat}$$

متوسط عدد الأفراد في الشقة الواحدة $= 7$ أفراد

$$\text{Population} = 2089 \times 7 = 14{,}623\ \text{capita}$$

ب. للمباني السكنية العادية:

$$\text{Area Specified for Buildings} = 178{,}104 m^2 \text{ (from autocad)}$$

$$\text{Actual Buildings Area} = 178{,}104 \times 0.6 = 106{,}862.4\ m^2$$

متوسط عدد الشقق $= 5$ شقق في المبنى.

$$\text{Total area (for all stories)} = 106{,}862.4 \times 5 = 534{,}312\ m^2$$

متوسط مساحة الشقة الواحدة $= 150\ m^2$

$$\#\ \text{of Flats} = \frac{534{,}312}{150} = 3562\ \text{Flat}$$

متوسط عدد الأفراد في الشقة الواحدة $= 7$ أفراد

$$\text{Population} = 3562 \times 7 = 24{,}934\ \text{capita}$$

$$\text{Total population (due to saturation)} = 14{,}623 + 24{,}934 = \mathbf{39{,}557 capita}$$

يتم أخذ القيمة الأصغر من الطريقتين:

$$\text{Final population} = \text{Min}(19{,}878\ ;\ 39{,}557) = \mathbf{19{,}878\ capita}$$

ملاحظات هامة:

1. يتم حساب عدد السكان لتحديد كثافة السكان في المنطقة بشكل أساسي ويمكن حساب الكثافة السكانية من خلال قسمة عدد السكان على المساحة الكلية للمنطقة كما يلي:

$$\text{PopulationDensity} = \frac{19{,}878}{510{,}000} = 0.039 \text{ capita/m}^2$$

حيث يتم الاهتمام بحساب الكثافة السكانية لمعرفة عدد السكان الذين تخدمهم كل نقطة تجميع (Manhole) بحيث يتم حساب المساحة التي تخدمها كل نقطة ومن ثم يتم ضرب هذه المساحة في الكثافة السكانية فنحصل على عدد السكان الذين تخدمهم هذه النقطة (سوف يتم توضيح ذلك لاحقا بالتفصيل).

2. مدينة البراق هي مدينة قيد الإنشاء حاليا، فكيف تم تقدير عدد السكان لها عام 2007 ؟!

يتم تقدير عدد السكان الحالي لأي مدينة أخرى (تم إنشاؤها) مشابهة لها في المساحة ومشابهة لها في الهدف (الهدف العام من إنشاء الحي أو المدينة) وهنا تم أخذ عدد السكان لمنطقة تل الهوى في مدينة غزة كمنطقة مشابهة لحي البراق حيث أن الهدف الأساسي منها هو إنشاء وحدات سكنية والمساحة متقاربة نوعا ما وبالتالي تم أخذ عدد سكان حي تل الهوى (عام 2007 حسب المركز الفلسطيني للإحصاء) ولإيجاد عدد السكان عام 2040 تم اعتبار الزمن $t = 33$ من عام 2007 إلى عام 2040. الجدول رقم (2) يوضح تعداد السكان لبعض الأحياء والمناطق في مدينة غزة حسب مركز الإحصاء الفلسطيني:

Quarter Name	Population (capita)	Area (Donum)
Al-awda	8,250	764
Al-sheekh Rodwan	36,000	1025
Al-nasser	33,000	2044
Al-shattea	90,000	975
Al-remal-Al-shamaly	22,000	2379
Al-daraj	50,000	2430
Al-tofah	41,500	2898
Al-zitoon	66,000	11329
Al-remal Al-janoby	30,250	2754
Tal Al-hawa	8,800	794

جدول (2): تعداد السكان لبعض أحياء مدينة غزة عام 2007

3. تم استخدام أمر Area في الأوتوكاد لإيجاد المساحات المذكورة في الأعلى وذلك عن طريق كتابة إختصار الأمر في شريط الأوامر في الأوتوكاد كما يلي:

aa>>Enter >> نحدد النقاط المكوِنة للمنطقة المراد إيجاد مساحتها >>Enter

فنجد المساحة المطلوبة مكتوبة في أعلى شريط الأوامر.

ملاحظة:

قد نحتاج استخدام أمر Area أكثر من مرة لإيجاد مساحة معينة (مكونة من عدة أجزاء) حيث نقوم بحساب المساحة لكل جزء على حده ومن ثم نقوم بجمعهم.

3.تحديد الكميات المستهلكة من المياه

يلزم تحديد كميات الاستهلاك المختلفة من المياه (استهلاك سكاني، استهلاك مستشفيات، استهلاك مدارس ومصانع وغيرها من أنواع الاستهلاك) لأن معظم المياه المستهلكة تتحول إلى مياه عادمة بعد الاستخدام بالتالي لا بد من تحديد كميات الاستهلاك لتحديد كميات المياه العادمة الناتجة.

في شبكات الصرف الصحي سوف نهتم بشكل أساسي لتصميم شبكات الصرف لتخدم السكان (أي تصريف المياه العادمة من المباني السكانية) أما بالنسبة لأنواع المياه العادمة الأخرى فيتم تصميم شبكة صرف صحي لكل منها على حدة خصوصا المصانع والمستشفيات لأن نوعية المياه العادمة التي تخرج من المصانع مثلا تختلف عن المياه العادمة الخارجة من المنازل.

بالتالي لا بد من تحديد الاستهلاك السكاني لكل فرد لمعرفة كمية المياه العادمة من خلال كمية الاستهلاك.

في قطاع غزة يصل استهلاك الفرد الواحد من المياه من 80 إلى 120 لتر في اليوم الواحد، وهذا المعدل يزداد مع الزمن ليصل إلى 150 لتر في اليوم للشخص الواحد مع حلول عام 2020 ويبقى ثابتا بعد ذلك. الجدول التالي (جدول رقم 3) يوضح استهلاك الفرد من المياه عند سنوات مختلفة حسب سلطة المياه الفلسطينية:

Year	Domestic Water Consumption
2007	110 L/C/day
2010	120 L/C/day
2015	135 L/C/day
2020	150 L/C/day
2025	150 L/C/day

جدول (3): الاستهلاك السكاني عند سنوات مختلفة

عند تصميم شبكة صرف صحي فإنه يتم تصميمها لفترة لا تقل عن 20 سنة (أي بعد عام 2020) بالتالي سوف يتم اعتماد معدل استهلاك الفرد: 150 L/C/day.

بعد تحديد كمية استهلاك الفرد الواحد فإن نسبة المياه العادمة من المياه المستهلكة تقدر بحوالي 80% أي أن المياه النظيفة بعد استعمالها 80% منها يتحول إلى مياه عادمة تحتاج إلى تصريف.

هذه النسبة (80%) تم أخذها من خلال دراسات سابقة على كميات المياه العادمة وهي خاصة **فقط للمناطق السكنية** ومرتبطة بالكثافة السكانية، فإذا كانت الكثافة السكانية كبيرة جدا قد تصل هذه النسبة إلى 95% لكن في الوضع الطبيعي أو المتوسط تكون هذه النسبة 80%.

بالتالي فإن متوسط إنتاج الفرد من المياه العادمة يكون: $150 \times 0.8 = 120$ L/C/day

4.تقرير تربة للمنطقة (Geotechnical Investigation)

يجب ان يتواجد تقرير تربة في للمنطقة المراد إنشاء الشبكة عليها، لمعرفة نوعية التربة الموجودة والتي سيتم تنفيذ الشبكة عليها، فإذا كانت التربة صخرية مثلا فإنه يصعب الحفر عليها بالتالي يجب التخلص منها أولا ومن صم البدء بالحفر لوضع الأنابيب.

مرحلة تخطيط الشبكة Network Layout

وتعتبر من أهم المراحل في تصميم شبكات الصرف الصحي، فكلما كان تخطيط الشبكة جيدا كلما كانت عملية التصميم سلسة وأكثر مرونة، حيث أن التخطيط الجيد للشبكة يضمن سهولة عملية التصميم وتشغيل الشبكة بشكل جيد وبالتالي يقلل من التكلفة الإجمالية للمشروع.

توقيع عناصر شبكات الصرف الصحي

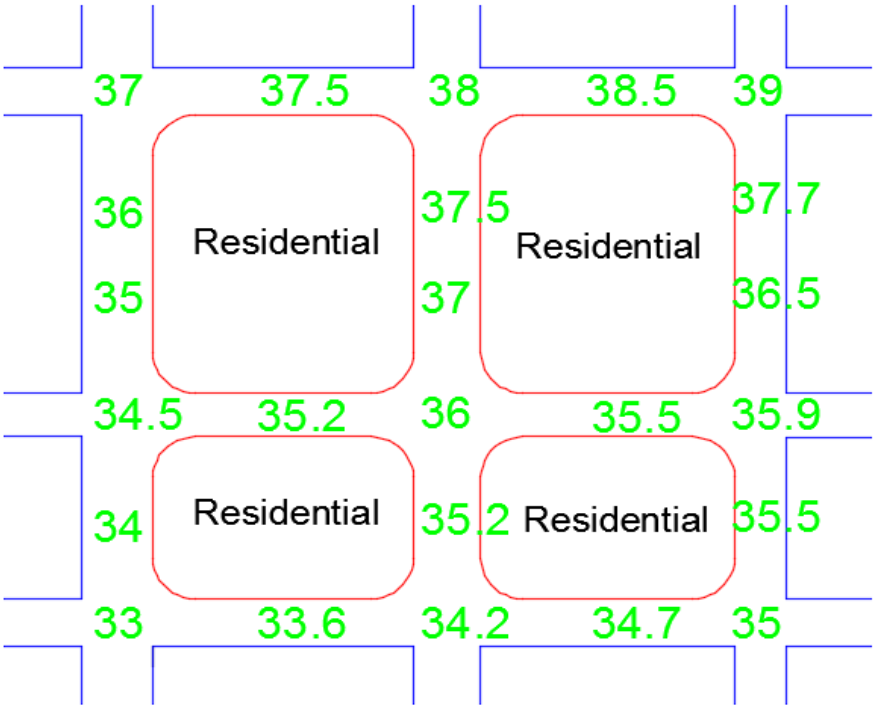
من المعلوم أنه يتم تجميع المياه العادمة من المنازل بواسطة المناهل والتي تكون موجودة في خط المنتصف للطرق، بالتالي فإن توزيع شبكة المياه يكون مماثل لتوزيع الشوارع في المدينة.

❖ **المناهل (Manholes):** وهي عبارة عن نقاط تجميع للمياه من أماكن المستخدمين ويتم وضع المناهل في الشبكة في الحالات التالية:

1. عند بداية الأنبوب (في حال تم أخذ منطقة معينة ك نقطة بداية يجب وضع منهل عندها).
2. عند تغير اتجاه الانبوب (تغير اتجاه الشارع من الغرب إلى الشمال مثلا).
3. عند كل تقاطع للأنابيب (التقاء أكثر من أنبوب).
4. عند تغير قطر الأنابيب (كتوصيلة بين الأنابيب الصغيرة والأنابيب الكبيرة).
5. عند التغير في المنسوب (منسوب الأنابيب الذي يكون في العادة نفس منسوب الأرض الطبيعية).
6. يتم وضع مناهل كل مسافة معينة تتراوح ما بين **20 إلى 60 متر** حيث أنه اذا زادت المسافة عن 60 متر سوف تصبح عملية الصيانة للأنابيب في المستقبل صعبة وبالتالي نحافظ دوما على هذه المسافات.

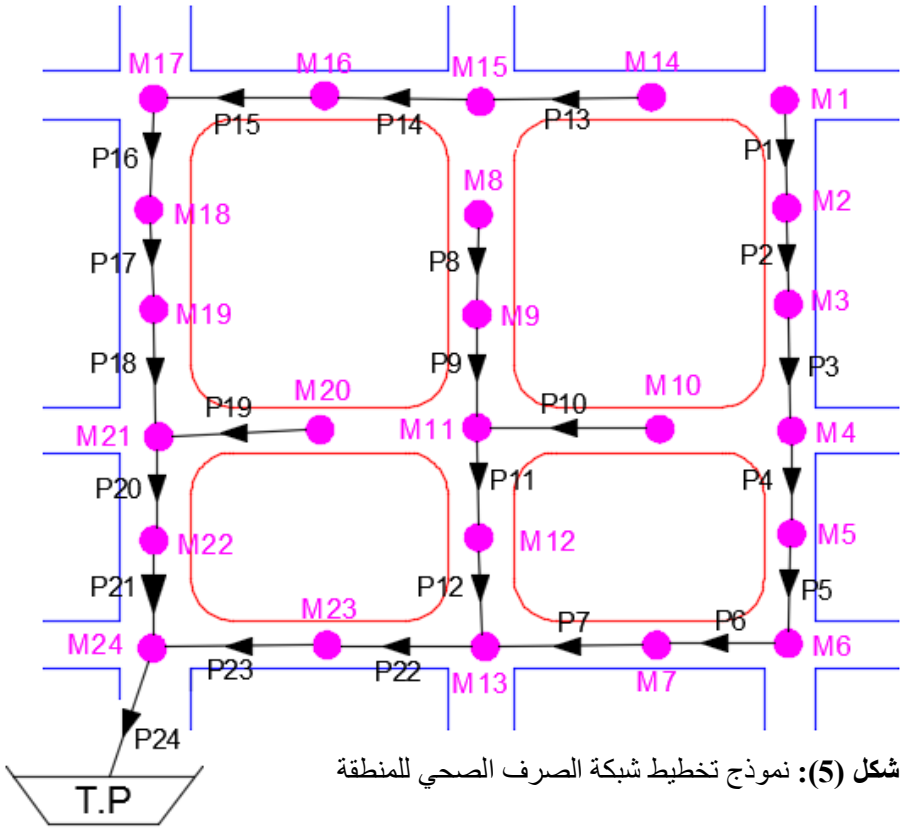
❖ **الأنابيب (Pipes):** تعتبر الأنابيب هي الخطوط الناقلة للمياه العادمة وبالتالي يجب توصيل الأنابيب من نقطة تجميع إلى أخرى ومن المعلوم هنا أن المياه تنتقل عن طريق الجاذبية (By Gravity) وبالتالي فإن اتجاه المياه في الأنابيب يكون من المنسوب المرتفع للمنسوب المنخفض.

لنفترض أن لدينا الشكل التالي (شكل رقم 4) كنموذج افتراضي لمنطقة معينة موضحا عليه المناسيب



شكل (4): مخطط افتراضي يوضح المخطط الهيكلي

المطلوب تخطيط شبكة صرف صحي لهذه المنطقة حسب ما هو موجود في المخطط.
الشكل التالي (شكل رقم 5) يوضح عملية التخطيط لهذه المنطقة.



شكل (5): نموذج تخطيط شبكة الصرف الصحي للمنطقة

ملاحظات هامة على الشكل رقم (5):

1. أحد أهم الشروط في عمليات تخطيط شبكات الصرف الصحي هو أن كل منهل يجب أن يكون له **مخرج واحد فقط** وقد يكون له أكثر من مدخل. وبالتالي لم يتم توصيل المنهل رقم (1) والمنهل رقم (14) مع بعضهما لأنه في حالة توصيلهم يصبح المنهل رقم (1) له مخرجان وهذا غير مقبول بالتالي تم الابتداء بالمنهل رقم (14) كنقطة بداية وكذلك الحال بالنسبة لباقي المناهل منهل رقم (11) ومنهل رقم (20) مثلا وهكذا. لكن **لماذا؟!** لأنه في حالة كان أكثر من مخرج فإننا لا نستطيع تحديد كمية المياه التي تخرج من كل مخرج لأننا لا نستطيع التحكم بها وبالتالي لا نستطيع تصميم الأنابيب بشكل سليم.

2. لاحظ أن الاتجاهات (الأسهم) في جميع الأنابيب من المنسوب المرتفع للمنسوب المنخفض انتهاءً بحوض المعالجة **باستثناء** الأنبوب رقم (10) حيث أن هذا الأنبوب تتحرك فيه المياه من منسوب (35.5) إلى منسوب (36) لكن في هذه الحالة لا يمكن للمياه أن تتحرك في هذا الاتجاه إلا إذا تم تزويد كمية الحفر للأنبوب عند المنهل رقم (11) أي جعل ميل الأنبوب يختلف عن ميل الأرض الطبيعية وذلك بتزويد كمية الحفر في نهاية الأنبوب. أحيانا تواجهنا هذه المشكلة أثناء تخطيط الشبكة حيث أن أغلب الأنابيب تكون حركة المياه فيها من المنسوب المرتفع للمنسوب المنخفض لكن بعض الأنابيب لا ينطبق عليها ذلك ، بالتالي نجعل اتجاه الأنبوب من المنسوب المنخفض للمنسوب المرتفع(كما هو الحال في الأنبوب رقم (10)) ومن ثم نقوم بزيادة كمية الحفر في نهاية الأنبوب لتتحرك المياه في الاتجاه الذي نريد. حيث سنتعلم حساب كميات الحفر لاحقا.

3. عملية ترقيم المناهل عملية هامة تسهل عملية التصميم، حيث أن المياه تنتقل في الأنابيب بشكل تراكمي من منهل إلى آخر لأن كل منهل يعتبر نقطة تجميع للمياه العادمة وبالتالي إذا كانت الأنابيب متصلة مع بعضها البعض (أي أن المياه تتجمع فيها بشكل تراكمي) فإننا نقوم بتسميتها بشكل متتالي ونسميها (مجموعة هذه الأنابيب) **(فرع أو Branch)** إلى أن ينتهي ذلك الاتصال المتوالي عند نقطة تجميع معينة. كما هوا الحال في المنهل من رقم (1) إلى رقم (7). لاحظ المنهل رقم 13 لم يتم تسميته (8) لأنه عبارة عن تجميع لأكثر من **فرع** حيث تم الابتداء بفرع جديد يشمل الأنبوب رقم (8) والأنبوب رقم (9) ليتقاطع مع الفرع الذي يحتوي على الأنبوب رقم (10) هذا التقاطع أسميناه بالمنهل رقم (11) ومن ثم تم التجميع في المنهل رقم (12) حتى الانتهاء بالمنهل التجميعي لهذه الفروع (منهل رقم13). بالتالي فإن المنهل الذي يكون تجميع لأكثر من فرع يتم تسميته بعد تسمية الأفرع التي تتجمع فيه ومن ثم يتم إعطاؤه الاسم في النهاية مثل المنهل رقم (11) المنهل رقم (13) وهكذا...

ترقيم الأنابيب مرتبط بترقيم المناهل كما هو واضح في الشكل رقم (5).

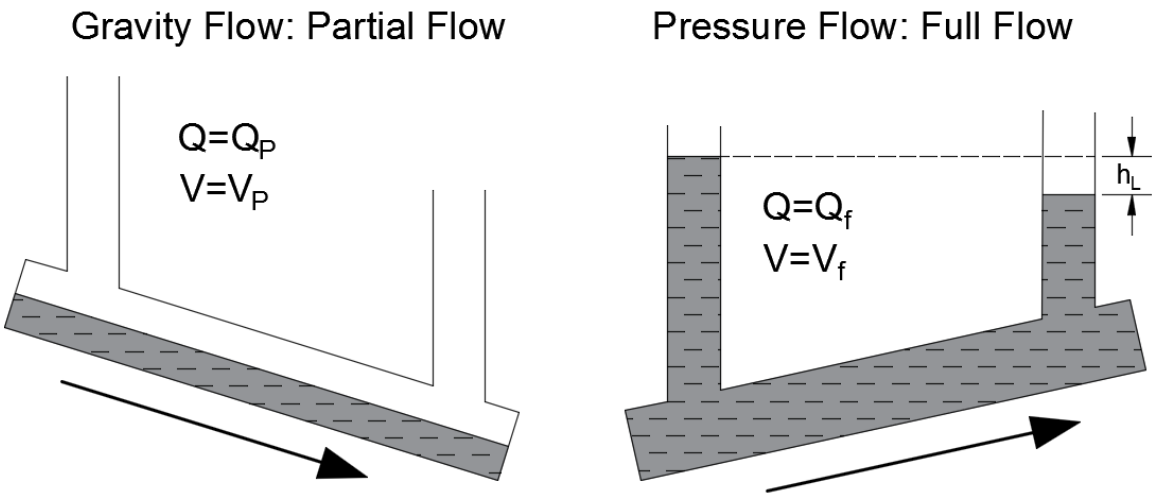
ملاحظة:

ليس شرطا الالتزام بهذه الطريقة في الترقيم حيث يمكنك الترقيم بأي طريقة تراها مناسبة، لكن هذه الطريقة تسهل عملية التصميم وتحديد كميات المياه في الأنابيب (كما سيتم توضيح لاحقا).

مرحلة التحليل والتصميم الهيدروليكي للشبكة
(Hydraulic Analysis and Design)

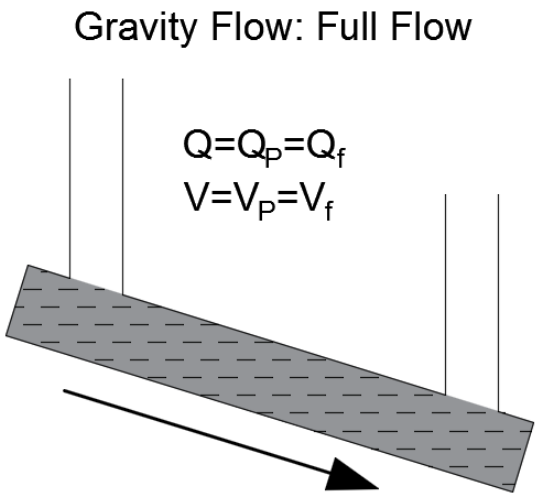
سوف يتم تصميم الشبكة باستخدام برنامج (Microsoft Excel).

كما تم ذكره سابقا أنه في شبكات الصرف الصحي يتم الاعتماد على حركة المياه في الأنابيب عن طريقة حركة المياه من المنسوب المرتفع للمنسوب المنخفض (By Gravity) وبالتالي فإن المياه أثناء حركتها وسريانها في الأنابيب لا تكون موجودة على كامل المقطع (كامل المحيط) (Partial Flow) على عكس شبكات توزيع المياه حيث كنا نعتمد على حركة المياه عن طريق الضخ وبالتالي فإن المياه تكون موجودة على كامل المقطع (Full Flow). الشكل رقم 5 يوضح الفرق بين الحالتين:



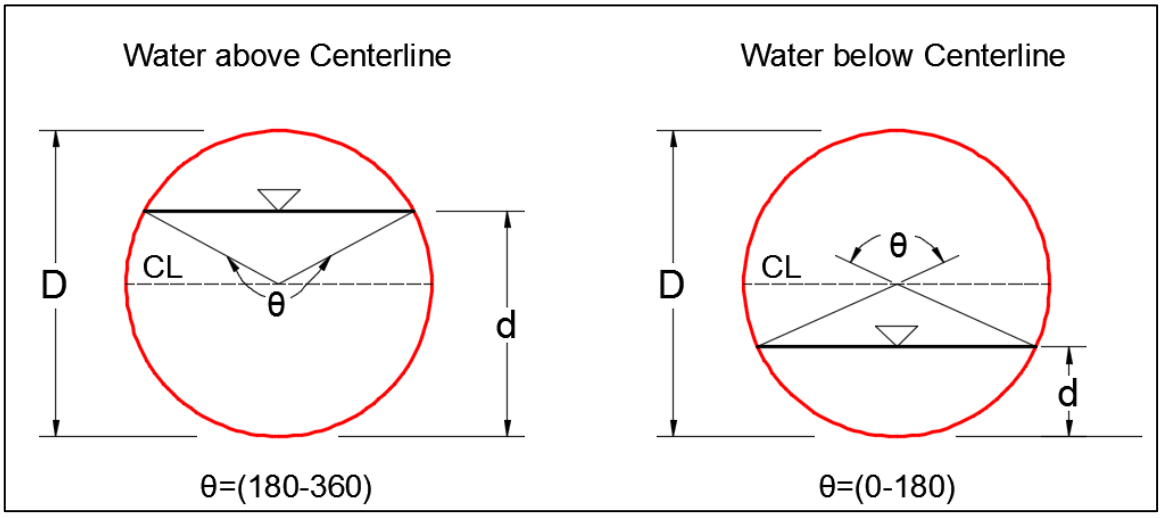
شكل (6): Gravity Flow and Pressure flow

في حال حركة المياه عن طريق الجاذبية توجد احتمالية لأن تكون المياه على كامل المقطع وهي حالة نادرة لكنها تحدث أحيانا ويكون الشكل كما يلي:



شكل (7): Gravity Flow and Pressure flow

عند أخذ مقطع في الأنبوب الذي يسري فيه الماء عن طريق الجاذبية فإن الماء يكون له حالتان: أن يكون منسوب المياه أقل من منسوب منتصف الأنبوب أو أن يكون منسوب المياه أعلى من خط المنتصف) كما يوضح الشكل التالي:



شكل (8): مقطع في أنبوب يسري فيه المياه عن طريق الجاذبية

D= قطر الأنبوب.

d= ارتفاع الماء في الأنبوب.

θ= الزاوية الحقيقة لسريان الماء في الأنبوب(بالدرجات) ونلاحظ أنها تتراوح ما بين 0 و360 درجة في كلتا الحالتين.

بطبيعة الحال عندما يكون التدفق عن طريق الجاذبية فإن قيمته تختلف عن قيمة التدفق عن بواسطة الضغط أي أن $Q_p \neq Q_f$ بل Q_p هي نسبة من Q_f وكذلك الحال بالنسبة للسرعة.

لإيجاد $\left(\frac{Q_P}{Q_f} \text{ and } \frac{V_P}{V_f}\right)$ فهما لهما علاقة مباشرة بقيمة $\frac{d}{D}$ وأيضا بقيمة الزاوي θ ولأنه لا توجد قيمة واحدة ل θ وأيضا لا توجد قيمة واحدة ل $\frac{d}{D}$ فإنه لا يوجد قيمة واحدة ل $\left(\frac{Q_P}{Q_f} \text{ and } \frac{V_P}{V_f}\right)$ بالتالي

يفضل عمل رسم بياني يوضح العقة بين $\frac{d}{D}$ و $\left(\frac{Q_P}{Q_f} \text{ and } \frac{V_P}{V_f}\right)$ آلية رسم هذا المنحنى كما يلي:

$$\theta \text{ range } (0 \rightarrow 360^{\circ})$$

$$\frac{d}{D} = \frac{1}{2}\left(1 - \cos\frac{\theta}{2}\right)$$

$$\frac{V_P}{V_f} = \left(\frac{R_P}{R_f}\right)^{2/3}$$

$$\frac{Q_P}{Q_f} = \left(\frac{A_P}{A_f} \times \frac{V_P}{V_f}\right)$$

$$\frac{R_P}{R_f} = \left(1 - \frac{360\sin\theta}{2\pi\theta}\right) \quad , \quad \frac{A_P}{A_f} = \left(\frac{\theta}{360} - \frac{\sin\theta}{2\pi}\right)$$

Now, by changing θ from 1 to 360 we can draw relationships between $\left(\frac{Q_P}{Q_f} \text{ and } \frac{V_P}{V_f}\right)$ on **x – axis** and $\frac{d}{D}$ on **y – axis**

We prepare the following table on Excel Program and then draw the graph.

Col. (1)	Col. (2)	Col. (3)	Col. (4)	Col. (5)	Col. (6)	Col. (7)
Theta (Deg.)	**Theta (Rad)**	**d/D**	**R_P/R_f**	**A_P/A_f**	**V_P/V_f**	**Q_P/Q_f**
1	0.017453293	1.904E-05	5.07688E-05	1.41E-07	0.00137	1.934E-10
2	0.034906585	7.615E-05	0.000203066	1.128E-06	0.00345	3.898E-09
3	0.052359878	0.0001713	0.000456863	3.807E-06	0.00593	2.258E-08
4	0.06981317	0.0003046	0.000812115	9.024E-06	0.0087	7.855E-08
5	0.087266463	0.0004759	0.001268756	1.762E-05	0.01172	2.065E-07
6	0.104719755	0.0006852	0.001826703	3.045E-05	0.01494	4.549E-07
7	0.122173048	0.0009326	0.002485853	4.834E-05	0.01835	8.87E-07
8	0.13962634	0.001218	0.003246087	7.214E-05	0.02192	1.581E-06
9	0.157079633	0.0015413	0.004107265	0.0001027	0.02565	2.633E-06
10	0.174532925	0.0019027	0.00506923	0.0001408	0.02951	4.155E-06
11	0.191986218	0.0023019	0.006131807	0.0001874	0.0335	6.277E-06
12	0.20943951	0.0027391	0.0072948	0.0002432	0.03761	9.146E-06
13	0.226892803	0.0032141	0.008557999	0.000309	0.04184	1.293E-05
14	0.244346095	0.0037269	0.009921172	0.0003858	0.04617	1.781E-05
15	0.261799388	0.0042776	0.011384071	0.0004743	0.05061	2.4E-05
16	0.27925268	0.004866	0.012946427	0.0005754	0.05514	3.172E-05
17	0.296705973	0.0054921	0.014607957	0.0006898	0.05976	4.122E-05
18	0.314159265	0.0061558	0.016368357	0.0008184	0.06447	5.276E-05
19	0.331612558	0.0068572	0.018227306	0.000962	0.06926	6.663E-05
20	0.34906585	0.0075961	0.020184464	0.0011214	0.07413	8.313E-05

Col. (1)

قيم الزاوية θ من 1 إلى 360 درجة

Col. (2)

قيم الزاوية θ بالراديان وذلك لسبب مهم جدا وهو أن الإكسيل لا يتعامل مع الزاوية بالدرجة بل يتعامل معها بالراديان فعلى سبيل المثال لو أردنا إيجاد sin 30 في الإكسيل لو لم نحولها إلى راديان فسوف يعطي نتيجة خاطئة كما يتضح في الشكل التالي:

Theta =	30	
Sin Theta =	-0.988	(Theta in Degree)
sin Theta =	0.5	(Theta in Radians)

وذلك لأن الإكسيل يتعامل عند حساب الجيب والجتا ومشتقاتهما على وجود رقم (number) Sin وذلك الرقم هو عبارة عن تحويل الزاوية المطلوبة إلى راديان ويتم تحويلها في الإكسيل باستخدام دالة راديان: Theta (rad) = radians(Theta in deg.)

Col. (3)

يتم حساب قيمة $\frac{d}{D}$ من خلال المعادلة التالية:

$\frac{d}{D} = \frac{1}{2}\left(1 - \frac{\cos\theta}{2}\right)$ مع الأخذ بالاعتبار إدخال الزاوية بالراديان وليس بالدرجة (كما تم التوضيح في الأعلى).

Col. (4)

يتم حساب قيمة $\frac{R_P}{R_f}$ من خلال المعادلة التالية:

$\frac{R_P}{R_f} = \left(1 - \frac{360\sin\theta}{2\pi\theta}\right)$ مع الأخذ بالاعتبار إدخال الزاوية بالراديان في البسط $(\sin\theta)$ **لكن**!!

في المقام نلاحظ أن الزاوية θ موجودة لوحدها وليست داخل جيب أو جيب تمام بالتالي هنا نأخذها كما هي **بالدرجات** وليس بالراديان.

Col. (5)

يتم حساب قيمة $\frac{A_P}{A_f}$ من خلال المعادلة التالية:

$\frac{A_P}{A_f} = \left(\frac{\theta}{360} - \frac{\sin\theta}{2\pi}\right)$ مع الأخذ بالاعتبار إدخال الزاوية **بالدرجات** في بسط الجزء الأيسر من المعادلة لأن الزاوية موجودة لوحدها، لكن في الجزء الأيمن من المعدلة نلاحظ أن الزاوية موجودة داخل الجيب ☺ وبالتالي هنا نأخذها بالراديان.

ملاحظة: الإكسيل بدو هيك (هيا شغلة غبية بس بدنا نمشيه عقد عقلو هنا ☺) ☺Just Smile☺

Col. (6)

يتم حساب قيمة $\frac{V_P}{V_f}$ من خلال المعادلة التالية:

$\frac{V_P}{V_f} = \left(\frac{R_P}{R_f}\right)^{2/3}$ عن طريق التعويض المباشر في برنامج الاكسيل

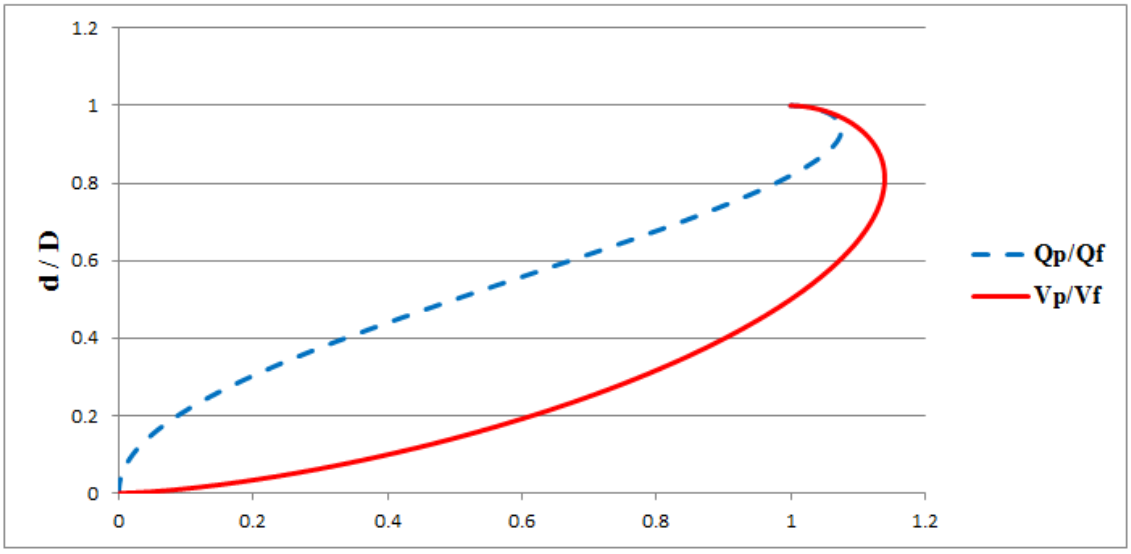
Col. (7)

يتم حساب قيمة $\frac{Q_P}{Q_f}$ من خلال المعادلة التالية:

$\frac{Q_P}{Q_f} = \left(\frac{A_P}{A_f} \times \frac{V_P}{V_f}\right)$ عن طريق التعويض المباشر في برنامج الاكسيل.

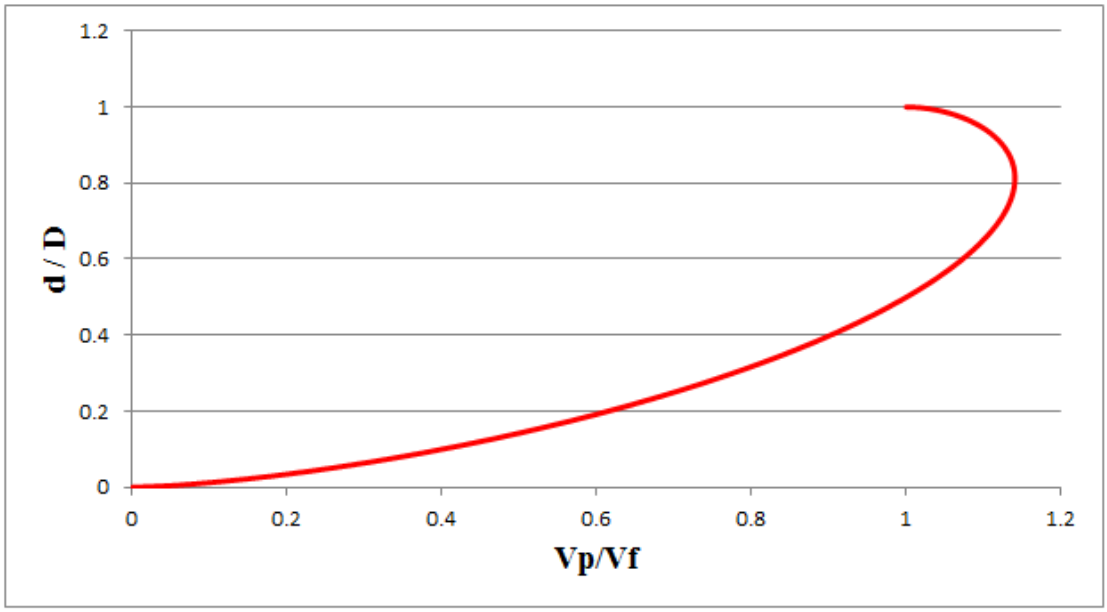
الآن يمكننا رسم العلاقة كما يلي:

$$\left(\frac{Q_P}{Q_f} \text{ and } \frac{V_P}{V_f}\right) \text{on } \mathbf{x-axis} \text{ and } \frac{d}{D} \text{ on } \mathbf{y-axis}$$

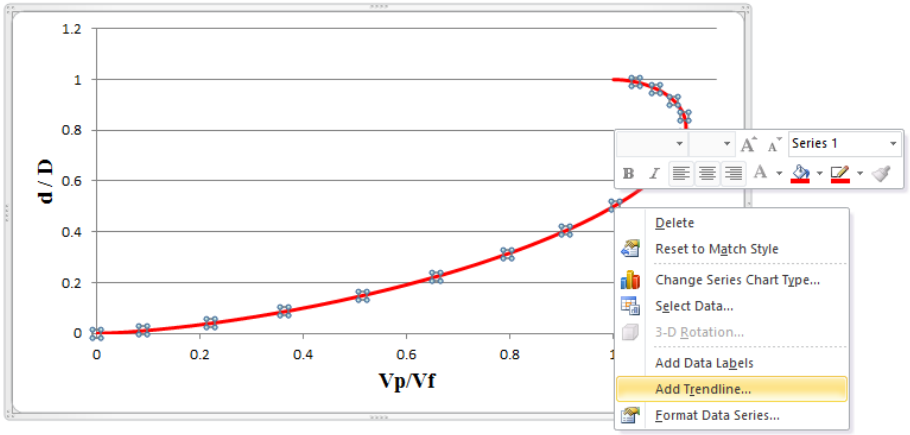


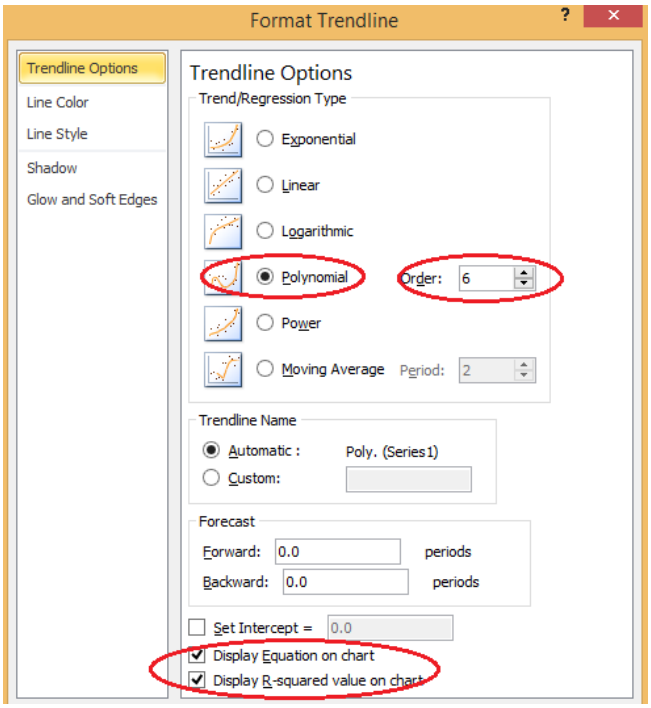
في عملية التصميم يلزمنا استخدام هذا الشكل عدة مرات ولكن لأننا نصمم على برنامج الاكسيل تريد أن نترجم هذا الشكل إلى معادلات أي نريد استخراج معادلة كل منحنى من الاكسيل لنستخدمها في عملية التصميم كما يلي:

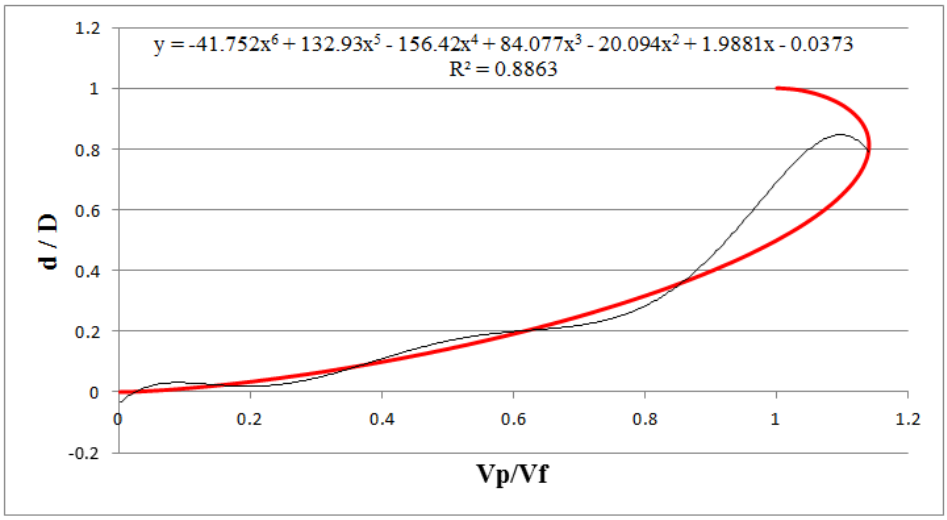
في البداية نرسم كل شكل على حدة، لنبدأ بالرسم الخاص بالسرعة بحيث نرسمه لوحده كما يلي:



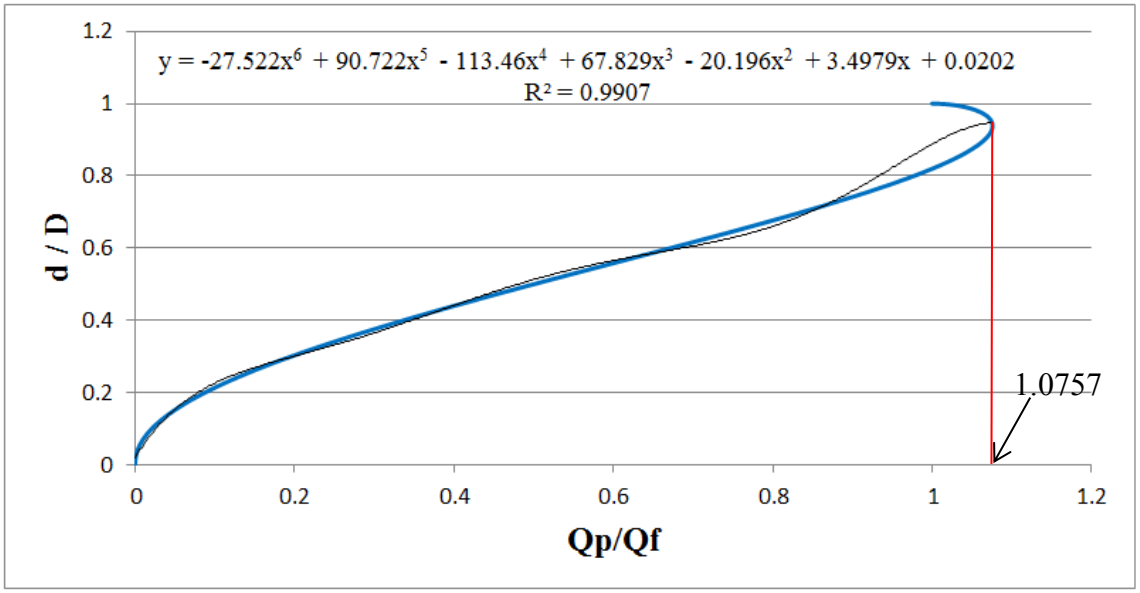
ثم بعد ذلك نقوم بإخراج معادلة هذا الشكل من الإكسيل كما في يتضح في الخطوات التالية:


1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
d / D
0
0.2
0.4
0.6
0.8
Vp/Vf
Series 1
Delete
Reset to Match Style
Change Series Chart Type...
Select Data...
3-D Rotation...
Add Data Labels
Add Trendline...
Format Data Series...

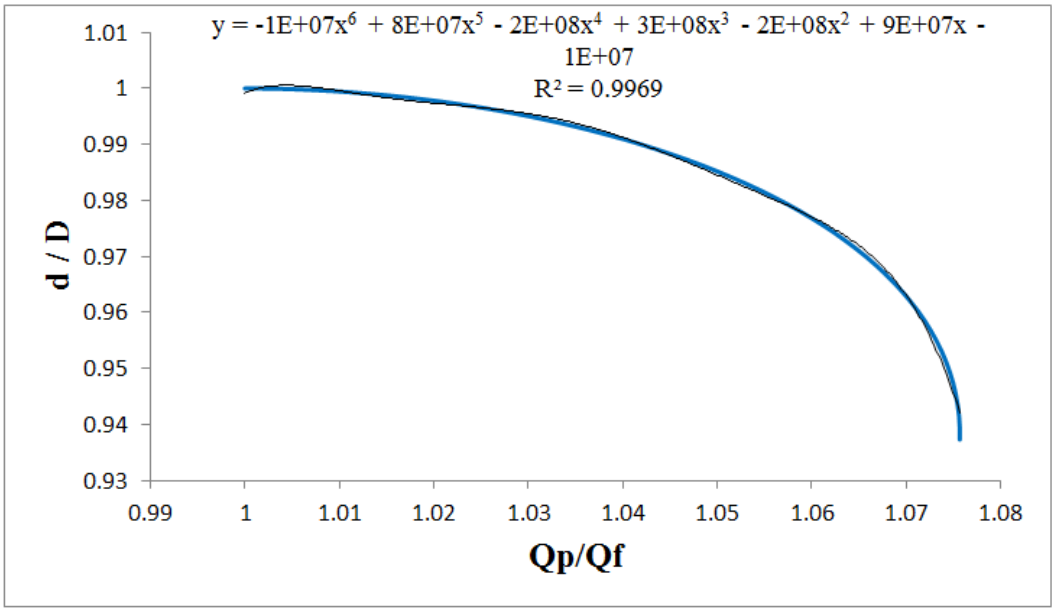

Format Trendline
Trendline Options
Line Color
Line Style
Shadow
Glow and Soft Edges
Trendline Options
Trend/Regression Type
Exponential
Linear
Logarithmic
Polynomial
Order: 6
Power
Moving Average
Period: 2
Trendline Name
Automatic :
Poly. (Series1)
Custom:
Forecast
Forward: 0.0
periods
Backward: 0.0
periods
Set Intercept = 0.0
Display Equation on chart
Display R-squared value on chart


y = -41.752x⁶ + 132.93x⁵ - 156.42x⁴ + 84.077x³ - 20.094x² + 1.9881x - 0.0373
R² = 0.8863
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
d / D
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.2
Vp/Vf

وكذلك الحال بالنسبة للرسم الخاص بالتدفق كما يلي:



نلاحظ من الرسم أعلاه أن المعادلة الموجودة تصلح فقط في حالة كانت $\frac{Q_P}{Q_f}$ أقل من أو تساوي 1.0757 حيث تم معرفة هذه القيمة عن طريق دالة MAX في الإكسيل حيث هي أقصى قيمة يمكن الوصول لها ل $\frac{Q_P}{Q_f}$ وبعدها يتغير تصرف المنحنى بالتالي لا يصح التعويض في المعادلة الموجودة في الأعلى ولذلك يجب إيجاد معادلة جديدة لتلك الفترة حيث نرسمها لوحدها ونجد معادلتها حيث نبحث عن هذه القيمة (1.0757) في الجدول الذي أعددناه مسبقا ونبدأ الرسم من عندها على أنها أول قيمة حيث أن قيم $\frac{Q_P}{Q_f}$ بعدها تبدأ بالتناقص مع زيادة $\frac{d}{D}$ وتكون الرسمة كما في الشكل التالي:

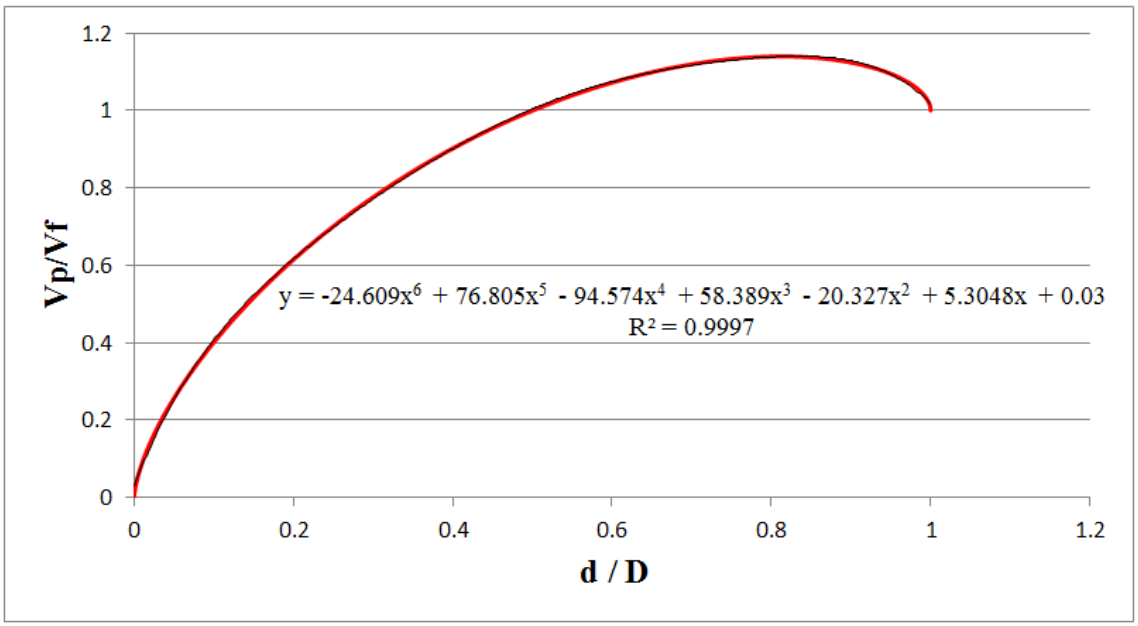


الآن نلاحظ من الشكل قبل الماضي أنه عندما تكون $\frac{Q_P}{Q_f}$ أكبر من 1 فإن المنحنى يكون له صورتان على محور Y لنفس قيمة X بالتالي لتجنب تلك الاشكالية فإننا في هذه الحالة نستخدم معادلة الشكل الموجود في الأعلى (آخر شكل) في حال كانت $\frac{Q_P}{Q_f}$ أكبر من 1 أما إذا كانت أقل من أو تساوي 1 فإننا نستخدم المعادلة التي في الشكل الأصلي (قبل الأخير).

لاحظ أن المعادلة تعطينا قيمة $Y = \frac{d}{D}$ عند التعويض عن قيمة $X = \frac{Q_P}{Q_f}$ حيث سنواجه في عملية التصميم لاحقا تلك الحالة عندما تكون قيمة $\frac{Q_P}{Q_f}$ معلومة ونستخدم المعادلة لإيجاد $\frac{d}{D}$ ولا يلزم ذلك للسرعة.

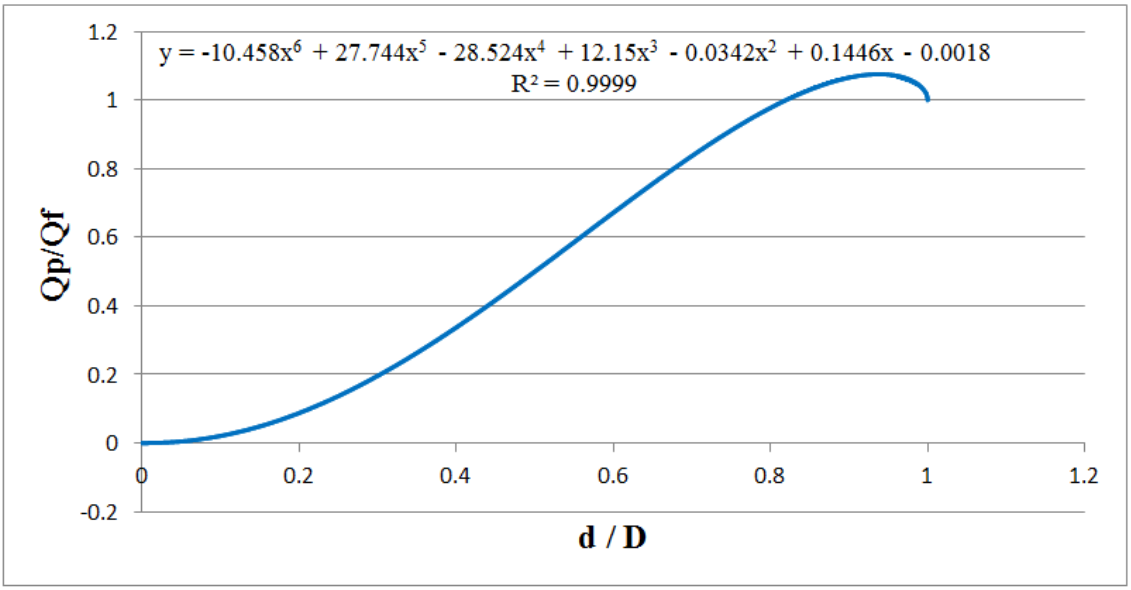
الذي يلزم للسرعة (في عملية التصميم) هو أن قيمة $\frac{d}{D}$ تكون معلومة ونريد إيجاد قيمة $\frac{V_P}{V_f}$ منها لكن المعادلة الموجودة في رسمة السرعة تعطينا $Y = \frac{d}{D}$ عند التعويض عن قيمة $X = \frac{V_P}{V_f}$ لكننا نريد **العكس**، لذلك نقوم بإعادة الرسم وإخراج المعادلة كما يلي:

$$\left(\frac{V_P}{V_f}\right) \text{on } \mathbf{y-axis} \text{ and } \left(\frac{d}{D}\right) \text{on } \mathbf{x-axis}$$



حيث نعوض عن قيم $X = \frac{d}{D}$ وبالتالي نجد القيمة المطلوبة ل $\frac{V_P}{V_f}$

وأيضا سوف تلزمنا الرسمة المعكوسة حيث أننا سوف نحتاج $\frac{Q_P}{Q_f}$ ويكون لدينا $\frac{d}{D}$ ونرسمها كما يلي:



How we can calculate V_f and Q_f

From **Manning** Equation such that this equation deals with full flow and we can calculate them as following:

$$V_f = \frac{1}{n} R_f^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

$$Q_f = \frac{0.312}{n} D^{\frac{8}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

$n =$ manning coefficient

$R_f =$ Hydraulic Radius $= \frac{D}{4}$

$S =$ slope of pipe

$D =$ pipe diameter

الآن لنبدأ عملية التصميم، لا بد من وضع معايير التصميم التي سوف نتبعها كما يلي:

Design Criteria

Initial Guess: $\frac{d}{D} = 0.67$

Slope:

Min = 0.5% , Max = 3%

Velocity:

Min = 0.6 m/s , Max = 3m/s.

Pipes:

Min Diameter = 8 inch

Use UPVC pipes with available diameters (8,10,12,14,16,18,20,22,24)inch

For UPVC pipes >> n (manning coefficient) = 0.009 >> 0.011 (use 0.01)

Thickness of pipes = 3 mm.

Cover:

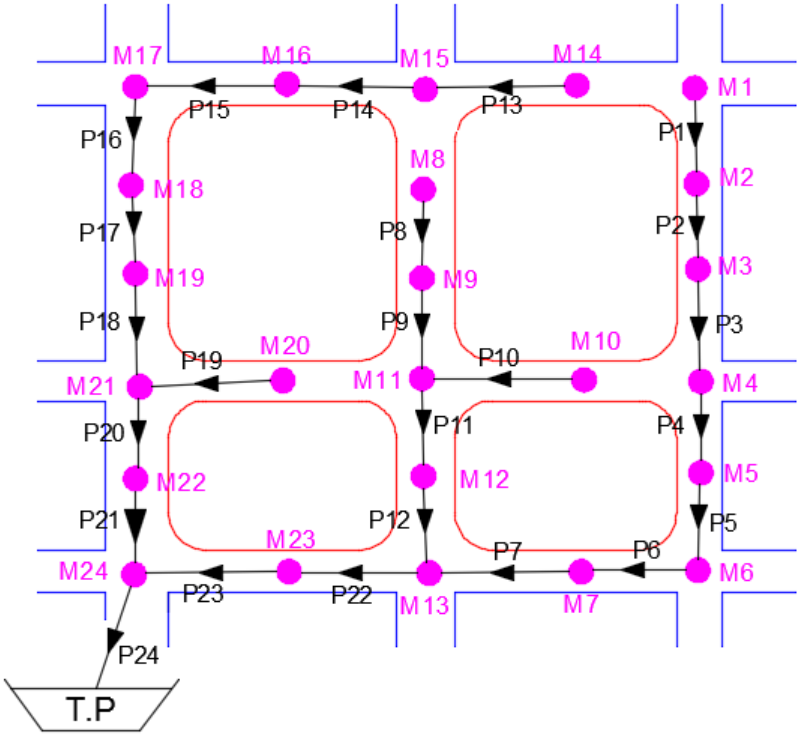
Minimum cover is depend on the diameter of the pipe according to the shown table:

D (inch)	Depth below design level (m)
4	0.7
6	0.8
8	1.0
10	1.0
12	1.0
14	1.2
16	1.3

Drop Manholes:

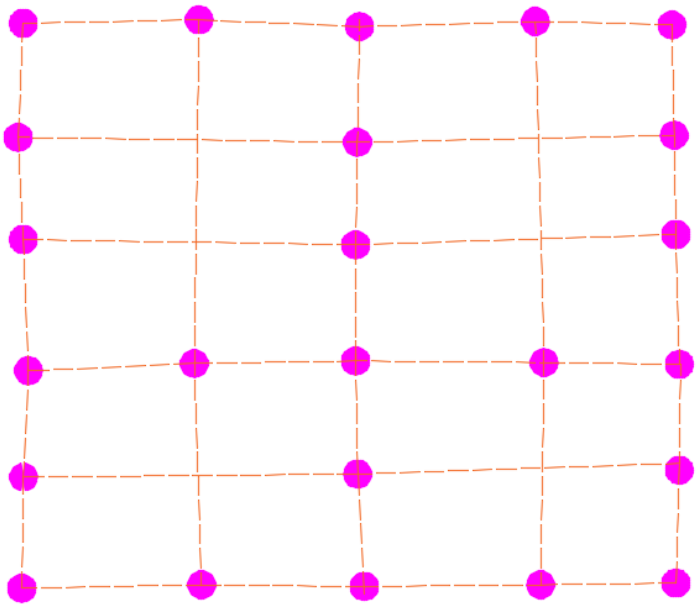
If distance between the inlet and the outlet pipe on the manhole is more than or equal 60cm>> use drop manhole.

الآن نريد أن نقوم بتصميم شبكة تصريف مياه للنموذج المصغر الذي تم توضيحه سابقا والذي يوجد في الشكل التالي (بعد عملية التخطيط والتسمية):

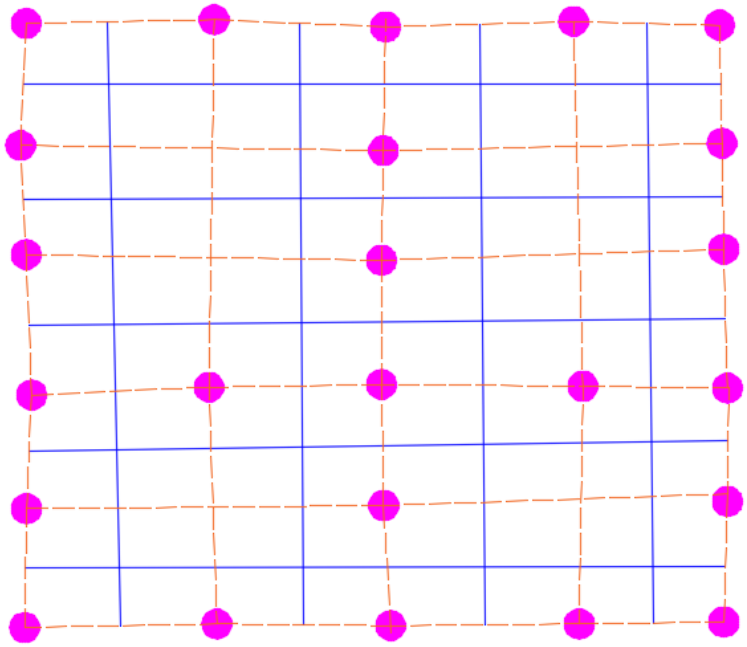


الآن بعد انتهاء عملية التخطيط نقوم بتحميل المساحات على المناهل (تحديد المساحة التي سوف يغطيها ويخدمها كل منها من هذه المدينة) ويمكن تحديد المساحات كما يلي:

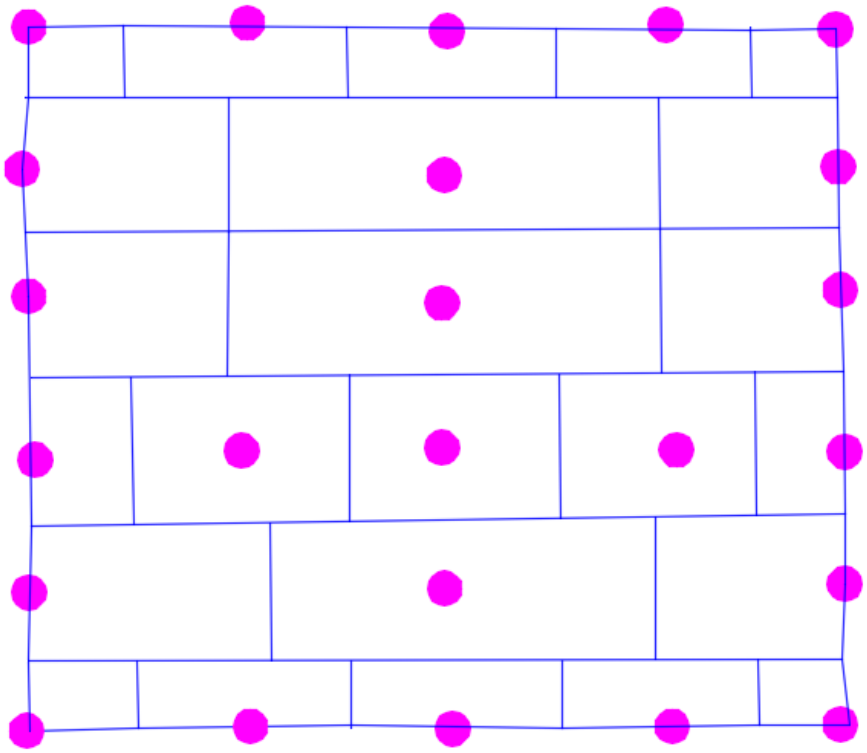
1. نقوم بتوصيل خطوط بين جميع المناهل كما في الصورة التالية (الخطوط المتقطعة):



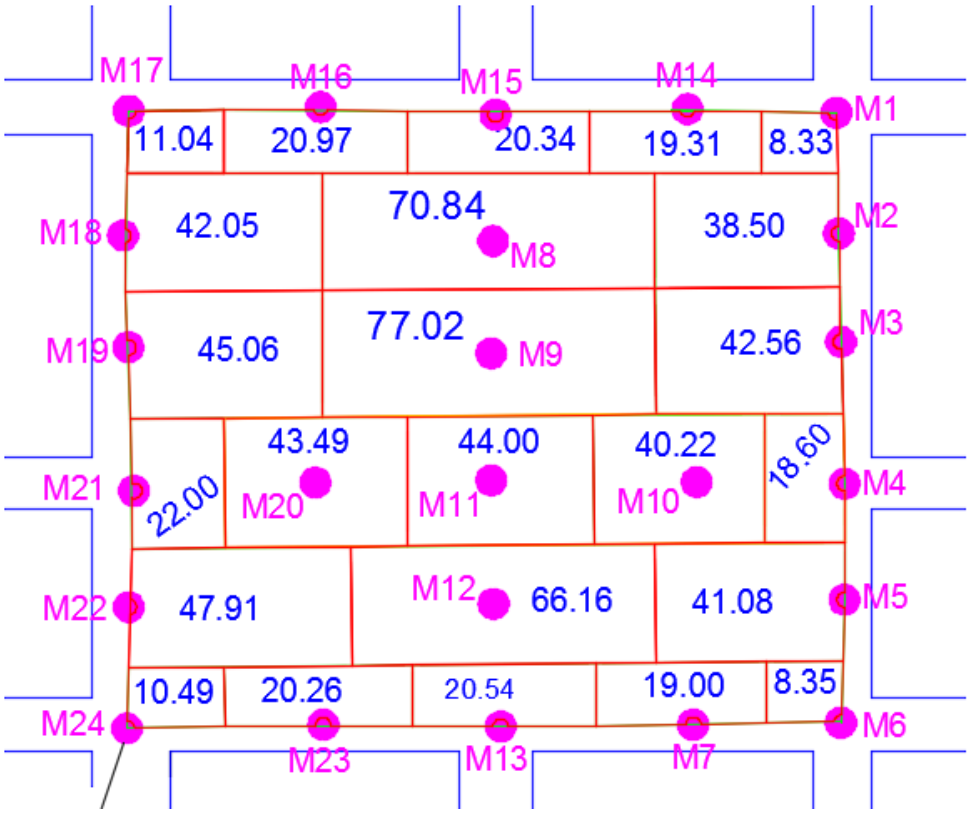
2. نقوم بتنصيف هذه الخطوط بمنصفات عمودية (الخطوط ال solid) كما في الصورة التالية:



3. نقوم بإزالة الخطوط المتقطعة لنحصل على مساحات مغلقة حول كل نقطة (منهل) كما في الشكل التالي:



4. نقوم بحساب المساحة المخصصة لكل منهل ونضع أسماء المناهل كما في الصورة التالية:



الآن نبدأ عملية التصميم حيث يتم عمل كل هذه الخطوة على برنامج الإكسيل مع مراعاة أخذ كل فرع لوحده (أي حسب طريقة التسمية) يجب الانتباه إلى كل كمية يتم تحميلها على الأنبوب حيث أن كل أنبوب يحمل التدفق الخاص به بالإضافة إلى جميع الأنابيب التي قبله (إذا كانت تصب فيه دون تفرع) والذي يسهل ذلك عملية التسمية التي قمنا بها سابقاً. وبالتالي سوف نعتمد كل مجموعة أنابيب ومناهل متصلة مع بعضها بشكل **متتالي** ونسميها (فرع أوBranch) حيث أن كل أنبوب في نفس الفرع يجب أن يحمل التدفق الخاص به بالإضافة إلى تدفق جميع الأنابيب التي قبله (في نفس الفرع).

الجدول التالي يحتوي على عملية التصميم للشبكة الموجودة في الأعلى:

Initial Guess d/D =	0.67	
Friction Coefficient (n)=	0.01	UPVC Pipe
Assume Population Density =	0.06	Person/m^2

تم فرض قيمة الكثافة السكانية تساوي 0.06 لأن هذا النموذج افتراضي، لكن المفترض حسابها كما تم التوضيح سابقا.

سوف يتم وضع الجدول على أربع أجزاء (على الترتيب) حتى تكون محتوياته واضحة:

Col.(1)	Col.(2)		Col.(3)	Col.(4)		Col.(5)	Col.(6)		Col.(7)	Col.(8)	Col.(9)	Col.(10)	Col.(11)	Col.(12)	Col.(13)	Col.(14)
Pipe	Manhole		Pipe	Ground Level		Ground	Area		Served	Q_{avg} (m^3/s)	Peak	Q_{peak}	$(Q_p/Q_f)_{initial}$	Q_f	Pipe	D
	From	To	Length	From	To	Slope	Each Man.	Cum.	Population		Factor (P.F)				Slope	(meter)
P1	M1	M2	26	39	37.7	0.050	41.7	41.7	2.502	3.475E-06	6	2.085E-05	0.785867652	2.65E-05	0.030	0.0102
P2	M2	M3	23	37.7	36.5	0.052	192.5	234.2	14.052	1.952E-05	6	1.171E-04	0.785867652	1.49E-04	0.030	0.0195
P3	M3	M4	30.5	36.5	35.9	0.020	212.8	447	26.82	3.725E-05	6	2.235E-04	0.785867652	2.84E-04	0.020	0.0269
P4	M4	M5	24.5	35.9	35.5	0.016	93	540	32.4	4.500E-05	6	2.700E-04	0.785867652	3.44E-04	0.016	0.0299
P5	M5	M6	26.5	35.5	35.0	0.019	205	745	44.7	6.208E-05	6	3.725E-04	0.785867652	4.74E-04	0.019	0.0328
P6	M6	M7	31.5	35	34.7	0.010	41	786	47.16	6.550E-05	6	3.930E-04	0.785867652	5.00E-04	0.010	0.0381
P7	M7	M13	41	34.7	34.2	0.012	95	881	52.86	7.342E-05	6	4.405E-04	0.785867652	5.61E-04	0.012	0.038
Branch																
P8	M8	M9	24	37.5	37.0	0.02083	354	354	21.24	2.950E-05	6	1.770E-04	0.785867652	2.25E-04	0.021	0.0244
P9	M9	M11	27	37	36.0	0.03704	385	739	44.34	6.158E-05	6	3.695E-04	0.785867652	4.70E-04	0.030	0.03
Branch																
P10	M10	M11	44	35.5	36.0	-0.0114	200.8	200.8	12.048	1.673E-05	6	1.004E-04	0.785867652	1.28E-04	0.005	0.0258
Branch																
P11	M11	M12	26.5	36	35.2	0.03019	220	1159.8	69.588	9.665E-05	6	5.799E-04	0.785867652	7.38E-04	0.030	0.0355
P12	M12	M13	26.5	35.2	34.2	0.03774	331	1490.8	89.448	1.242E-04	6	7.454E-04	0.785867652	9.49E-04	0.030	0.0391
Branch																
P13	M14	M15	41	38.5	38.0	0.0122	96.4	96.4	5.784	8.033E-06	6	4.820E-05	0.785867652	6.13E-05	0.012	0.0166
P14	M15	M16	37.5	38	37.5	0.01333	101.7	198.1	11.886	1.651E-05	6	9.905E-05	0.785867652	1.26E-04	0.013	0.0213
P15	M16	M17	41	37.5	37.0	0.0122	105	303.1	18.186	2.526E-05	6	1.516E-04	0.785867652	1.93E-04	0.012	0.0254
P16	M17	M18	26.5	37	36.0	0.03774	55	358.1	21.486	2.984E-05	6	1.791E-04	0.785867652	2.28E-04	0.030	0.0229
P17	M18	M19	24	36	35.0	0.04167	210	568.1	34.086	4.734E-05	6	2.841E-04	0.785867652	3.61E-04	0.030	0.0272
P18	M19	M21	30.5	35	34.5	0.01639	225	793.1	47.586	6.609E-05	6	3.966E-04	0.785867652	5.05E-04	0.016	0.0345
Branch																
P19	M20	M21	39	35.2	34.5	0.01795	217.5	217.5	13.05	1.813E-05	6	1.088E-04	0.785867652	1.38E-04	0.018	0.0209
Branch																
P20	M21	M22	25	34.5	34.0	0.02	110	1120.6	67.236	9.338E-05	6	5.603E-04	0.785867652	7.13E-04	0.020	0.0379
P21	M22	M24	26	34	33.0	0.03846	239.5	1360.1	81.606	1.133E-04	6	6.801E-04	0.785867652	8.65E-04	0.030	0.0377
Branch																
P22	M13	M23	38	34.2	33.6	0.01579	102.5	2474.3	148.458	2.062E-04	6	1.237E-03	0.785867652	1.57E-03	0.016	0.0533
P23	M23	M24	42	33.6	33.0	0.01429	101.2	2575.5	154.53	2.146E-04	6	1.288E-03	0.785867652	1.64E-03	0.014	0.0551
Branch																
P24	M24	T.P.	32.5	33	32.0	0.03077	52.5	3988.1	239.286	3.323E-04	6	1.994E-03	0.785867652	2.54E-03	0.030	0.0565
End of Network																

Col.(15)	Col.(16)	Col.(17)	Col.(18)	Col.(19)	Col.(20)	Col.(21)	Col.(22)	Col.(23)	Col.(24)	Col.(25)
D (inch)	**D_{needed} (inch)**	**D_{needed} (meter)**	**$Q_{f(new)}$**	**$(Q_p/Q_f)_{new}$**	**$(d/D)_{new}$**	**(V_p/V_f)**	**V_f**	**V_p**	**Check**	**Solution (If Not OK)**
0.4021	8	0.2032	0.0771	2.704E-04	0.02114	0.13361	2.376	0.3174	Not OK(< Min)	Increase (S) or (D)
0.768	8	0.2032	0.0771	1.518E-03	0.02546	0.15283	2.376	0.3631	Not OK(< Min)	Increase (S) or (D)
1.0592	8	0.2032	0.0625	3.579E-03	0.03246	0.18268	1.924	0.3515	Not OK(< Min)	Increase (S) or (D)
1.1775	8	0.2032	0.0569	4.746E-03	0.03635	0.19862	1.753	0.3481	Not OK(< Min)	Increase (S) or (D)
1.2929	8	0.2032	0.0612	6.090E-03	0.04077	0.21619	1.884	0.4073	Not OK(< Min)	Increase (S) or (D)
1.4996	8	0.2032	0.0435	9.044E-03	0.05023	0.25201	1.339	0.3373	Not OK(< Min)	Increase (S) or (D)
1.4942	8	0.2032	0.0492	8.958E-03	0.04996	0.25102	1.515	0.3802	Not OK(< Min)	Increase (S) or (D)
0.9601	8	0.2032	0.0643	2.754E-03	0.02968	0.171	1.980	0.3386	Not OK(< Min)	Increase (S) or (D)
1.1817	8	0.2032	0.0771	4.791E-03	0.0365	0.19923	2.376	0.4733	Not OK(< Min)	Increase (S) or (D)
1.0144	8	0.2032	0.0315	3.189E-03	0.03115	0.1772	0.970	0.1719	Not OK(< Min)	Increase (S) or (D)
1.3993	8	0.2032	0.0771	7.519E-03	0.04539	0.23397	2.376	0.5559	Not OK(< Min)	Increase (S) or (D)
1.5374	8	0.2032	0.0771	9.665E-03	0.05218	0.25909	2.376	0.6155	OK	Design is true :)
0.6518	8	0.2032	0.0492	9.802E-04	0.02361	0.14465	1.515	0.2191	Not OK(< Min)	Increase (S) or (D)
0.8397	8	0.2032	0.0514	1.926E-03	0.02686	0.15892	1.584	0.2517	Not OK(< Min)	Increase (S) or (D)
1.0015	8	0.2032	0.0492	3.082E-03	0.03079	0.17569	1.515	0.2661	Not OK(< Min)	Increase (S) or (D)
0.9005	8	0.2032	0.0771	2.322E-03	0.02821	0.16474	2.376	0.3914	Not OK(< Min)	Increase (S) or (D)
1.0707	8	0.2032	0.0771	3.683E-03	0.03281	0.18413	2.376	0.4375	Not OK(< Min)	Increase (S) or (D)
1.359	8	0.2032	0.057	6.956E-03	0.04358	0.22707	1.756	0.3988	Not OK(< Min)	Increase (S) or (D)
0.8225	8	0.2032	0.0597	1.823E-03	0.02651	0.15739	1.838	0.2892	Not OK(< Min)	Increase (S) or (D)
1.4904	8	0.2032	0.063	8.898E-03	0.04977	0.25032	1.940	0.4856	Not OK(< Min)	Increase (S) or (D)
1.4854	8	0.2032	0.0771	8.818E-03	0.04952	0.24939	2.376	0.5925	Not OK(< Min)	Increase (S) or (D)
2.0968	8	0.2032	0.056	2.211E-02	0.08838	0.37499	1.724	0.6463	OK	Design is true :)
2.1689	8	0.2032	0.0532	2.420E-02	0.09394	0.39053	1.639	0.6402	OK	Design is true :)
2.2235	8	0.2032	0.0771	2.586E-02	0.09826	0.40226	2.376	0.9557	OK	Design is true :)

الآن سوف يتم شرح جميع الأعمدة في الجدول العلوي بالتفصيل، لكن قبل ذلك يجب الانتباه إلى نقطة هامة جدا وهي طريقة تسمية الأنابيب والمناهل في الإكسيل، نلاحظ أننا قمنا بوضع كل فرع (مجموعة أنابيب متصلة مع بعضها بدون تقاطع) لوحده ثم أنشأنا فاصل بين كل فرع والآخر وذلك لأن كل فرع ليس على اتصال مباشر مع الآخر وسوف يظهر فائدة ذلك بعد قليل ☺. الآن نبدأ بتفصيل جميع الأعمدة حسب التسميات الموجودة في أعلى الجدول:

Col. (1):

يتم وضع أسماء الأنابيب (بشكل متسلسل) وذلك حسب التسمية النهائية في مرحلة التخطيط ومن ثم نقوم بوضع فاصل بين كل فرع والآخر. (**ملاحظة:** الفاصل يكون خط بلون آخر للخلايا دون عمل أي دمج لهذه الخلايا وذلك لنُبقي على الحسابات مستمرة في الإكسيل عند السحب لأسفل).

Col. (2):

يتم وضع أسماء المناهل التي في بداية ونهاية كل أنبوب حيث أن كل أنبوب يبدأ بمنهل معين وينتهي بمنهل معين (حسب اتجاه السريان) الذي تم توضيحه مسبقا.

Col. (3):

نقوم بقياس طول كل أنبوب في برنامج الأوتوكاد ومن ثم نضعه مقابل كل أنبوب في الإكسيل.

Col. (4):

حسب الخريطة الكنتورية نقوم بوضع المنسوب (منسوب الأرض الطبيعية) على المنهل الذي يوجد في بداية الأنبوب والمنهل الذي يوجد في نهاية الأنبوب (كما أوضحنا: البداية والنهاية حسب اتجاه السريان).

Col. (5):

نقوم بحساب ميل الأرض الطبيعية بناءً على المناسيب التي تم إدخالها في العمود رقم (4) ما يلي:

$$\text{Ground Slope (S)} = \frac{\text{Elevation}_{\text{from(upper)}} - \text{Elevation}_{\text{to(lower)}}}{\text{Pipe length}}$$

نلاحظ أن ميل الأنبوب رقم 10 هو سالب (-0.0114) وذلك لأن المنسوب يزداد في اتجاه السريان المفروض وسوف يتم التعامل مع ذلك لاحقاً.

Col. (6):

من أهم الأعمدة في عملية التصميم وهو عملية تحميل المساحات على الأنابيب حيث يتم وضع مساحة المنهل (الذي يبدأ به الأنبوب) في الخانة الأولى، أما الخانة الثانية فمن المعلوم أن كل الأنابيب التي في نفس الفرع تأخذ كمية المياه الخاصة بها وكمية المياه التي قبلها أي أن العملية تراكمية وبالتالي في كل فرع يتم جمع المساحات بشكل تراكمي حيث أن آخر أنبوب في الفرع يحمل جميع مساحات الأنابيب التي قبله (في نفس الفرع) وهكذا...

لاحظ مثلا أن الأنبوب رقم (8) أخذ المساحة الخاصة به فقط (354) ولم يأخذ المساحات التي قبله وذلك لأن هذا الأنبوب هو بداية لفرع جديد ولم يأخذ من أي أنبوب قبله أي مياه.

ولاحظ أيضاً الأنبوب رقم(11) يأخذ مياه من الأنبوب رقم (9) والأنبوب رقم (10) بالإضافة إلى الكمية الخاصة به، وبالتالي فإن المساحة التراكمية على الأنبوب رقم 11 هي:

$$739(\text{P9}) + 200.8\ (\text{P10}) + 220(\text{M11}) = 1159.8\ (\text{P11 Cum.})$$

بالتالي يجب وضع هذه القيمة يدويا لإيجاد الكمية الحقيقة التي يحملها هذا الأنبوب وهكذا الحال في الأنبوب رقم (20) حيث يأخذ يحمل مساحة الأنبوب رقم (18) والأنبوب رقم (19) بالإضافة إلى نفسه وهكذا...

Col. (7):

يتم حساب عدد السكان الذين يخدمهم كل منهل ويمكن حسابه عن طريق ضرب الكثافة السكانية (والتي تكون ثابتة لكل المدينة) في المساحة التراكمية التي يغطيها كل أنبوب كما يلي:

$$\text{Served Population} = \text{Area Cum.} \times \text{Population Density (0.06 here)}$$

Col. (8):

يتم حساب متوسط كمية المياه العادمة التي يحملها كل أنبوب كما يلي:

$$Q_{avg} = \text{Served Population} \times 150 \times 0.8 \ (L/day)$$

$$Q_{avg} = \frac{\text{Served Population} \times 150 \times 10^{-3} \times 0.8}{24 \times 3600} \ (m^3/sec)$$

حيث تم التوضيح سابقا أن نسبة المياه العادمة من كمية المياه التي يستهلكها الشخص تعادل 80% تقريبا.

Col. (9):

نقوم بحساب معامل الذروة (Peak Factor) من الثلاث معادلات التالية:

$$P_f = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{P}} \quad (P: \text{Population in thousands})$$

$$P_f = \frac{5}{P^{0.167}} \quad (P: \text{Population in thousands})$$

$$P_f = 1.5 + \frac{2.5}{\sqrt{Q_{avg}}} \quad (Q_{avg}: (L/sec))$$

يتم أخذ **أقصى قيمة** من هذه الثلاث قيم ويتم مقارنتها بالحدود الموجودة لمعامل الذروة حيث أنه في أي حال من الأحوال يجب أن لا يقل عن 2 وأن لا يزيد عن 6.

Col. (10):

$$Q_{Peak} = Q_{avg} \times P_f = Q_{Partial}$$

Col. (11):

يتم حساب نسبة التدفق الجزئي من التدفق الكلي حيث أننا فرضنا مفرض أولي قيمة $\frac{d}{D} = 0.67$ حيث أن قيمة $\frac{Q_P}{Q_f}$ عند هذه النسبة تساوي دائما 0.785 حيث تم إيجادها عن طريق العلاقة الموجودة بين $\frac{d}{D}$ و$\frac{Q_P}{Q_f}$ وهي ثابتة لجميع الأنابيب لأنها تكون فرض لأولي لجميع الأنابيب.

Col. (12):

$$Q_f = \frac{Q_P}{\frac{Q_P}{Q_f}} = \frac{Q_P}{0.785}$$

Col. (13):

يتم مقارنة الميل الذي تم حسابها في الأعلى في العمود رقم (5) ومقارنته بالحدود الموجودة للميل حيث أنه يجب أن لا يقل عن 0.005 (0.5%) ويجب أن لا يزيد عن 0.03 (3%).

لاح هنا أن ميل الأنبوب رقم (10) أصبح 0.005 بدلا من القيمة السالبة التي كانت موجودة في البداية (حسب مناسيب الأرض الطبيعية) وسوف نأخذ بالاعتبار هذا التغير في الميل لاحقا (عند حساب كميات الحفر) حيث سيتم زيادة الحفر في نهاية الأنبوب للوصول إلى ميل 0.005 وهكذا.

Col. (14):

يتم حساب القطر المطلوب من معادلة مانغ كما يلي:

$$D = \left(\frac{n \times Q_f}{0.312 \times \sqrt{S}}\right)^{3/8} \text{ (m)}$$

$S = \text{Pipe Slope (from Col. 13)}$

$n = \text{manning coefficient} = 0.01 \text{ (here)}$

$Q_f \text{ (from Col. 12)}$

Col. (15):

يتم تحويل القطر الذي تم حسابه من العمود رقم (14) من وحدة المتر إلى وحدة الإنش كما يلي:

$$D_{inch} = \frac{D_{meter} \times 100}{2.54}$$

Col. (16):

يتم مقارنة القطر الموجود بالإنش بأقل قطر مطلوب توافره وهو 8 إنش وبالتالي يتم مقارنة القيمة من العمود رقم (15) ب 8 إنش ونأخذ الأكبر حيث أن القطر لا يجب أن يقل عن 8 إنش وبعد ذلك إذا كان القطر أكبر من 8 إنش فإنه يتم تقريبه لأقرب 2 لأن الأقطار المتوفرة في السوق هي من مضاعفات ال2 وذلك باستخدام دالة (Ceiling) في الإكسيل حيث تكون الخلية في العمود رقم (16) على النحو التالي:

$$D_{needed(inch)} = \text{Max}(8, \text{Ceiling}(D_{inch}, 2))$$

Col. (17):

بعد إيجاد القيمة النهائية للقطر بالإنش، يجب إيجادها مرة أخرى بالمتر لأنها تكون قد تغيرت بعد الحسابات في العمود رقم (16) وبالتالي يتم إيجادها بالمتر كما يلي:

$$D_{needed(meter)} = \frac{D_{needed(inch)} \times 2.54}{100}$$

Col. (18):

لأن القطر أصبح له قيمة جديدة فإن قيمة التدفق الكلي Q_f تتغير ويصبح لها قيمة جديدة حسب معادلة مانينغ ويمكن إيجادها كما يلي:

$$Q_{f,new} = \frac{0.312}{n} \times \left(D_{needed(meter)}\right)^{8/3} \times S^{1/2}$$

Col. (19):

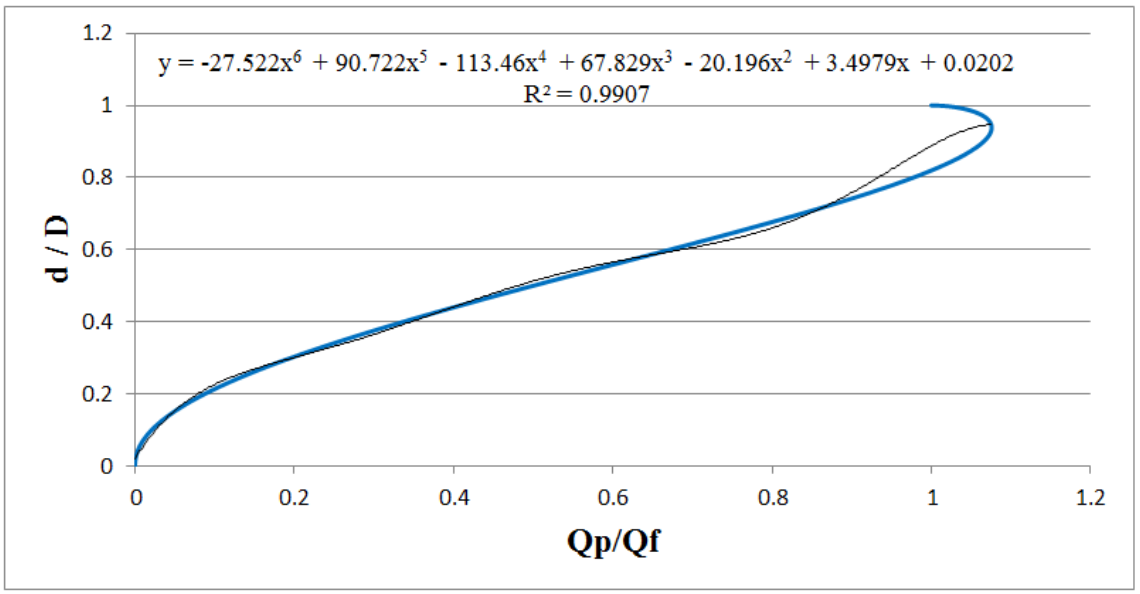
ولأن قيمة Q_f تغيرت، فإن قيمة $\frac{Q_P}{Q_f}$ سوف تتغير أيضاً حيث نجد هذه النسبة الجديدة كما يلي:

$$\left(\frac{Q_P}{Q_f}\right)_{new} = \frac{Q_P \text{from Col. (10)}}{Q_{f,new}}$$

ولكن يجب مراعاة أن لا تزيد هذه القيمة عن أقصى قيمة يتعرف عليها المنحنى والتي تم التعرف عليها سابقاً (1.075) لأنها لو زادت عن هذه القيمة، فإن قيم $\frac{d}{D}$ التي سوف نحسبها في العمود رقم 20 سوف لن تكون منطقية مطلقا .

Col. (20):

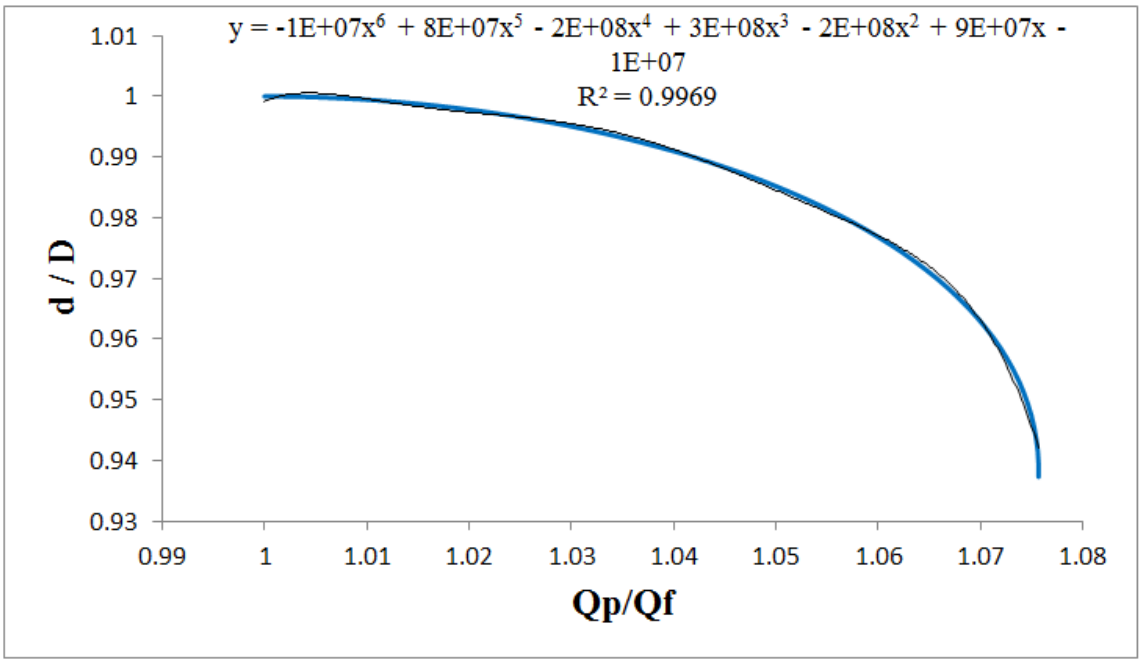
مع تغير $\frac{Q_P}{Q_f}$ فإن النسبة $\frac{d}{D}$ تتغير أيضا حيث أن بينهما علاقة مباشرة ويمكن إيجاد النسبة $\frac{d}{D}$ بدلالة $\frac{Q_P}{Q_f}$ من المعادلات التي تم إيجادها من الرسومات (Regression) كما يلي:



إذا كانت قيمة $\left(\frac{Q_P}{Q_f}\right)_{new}$ أقل من أو تساوي 1 فإننا نستخدم المعادلة الموجودة في الرسم في الأعلى

حيث تكون قيمة Y هي قيمة $\left(\frac{d}{D}\right)_{new}$ المطلوبة وتكون قيمة X هي قيمة $\left(\frac{Q_P}{Q_f}\right)_{new}$ وبالتالي نجد $\left(\frac{d}{D}\right)_{new}$.

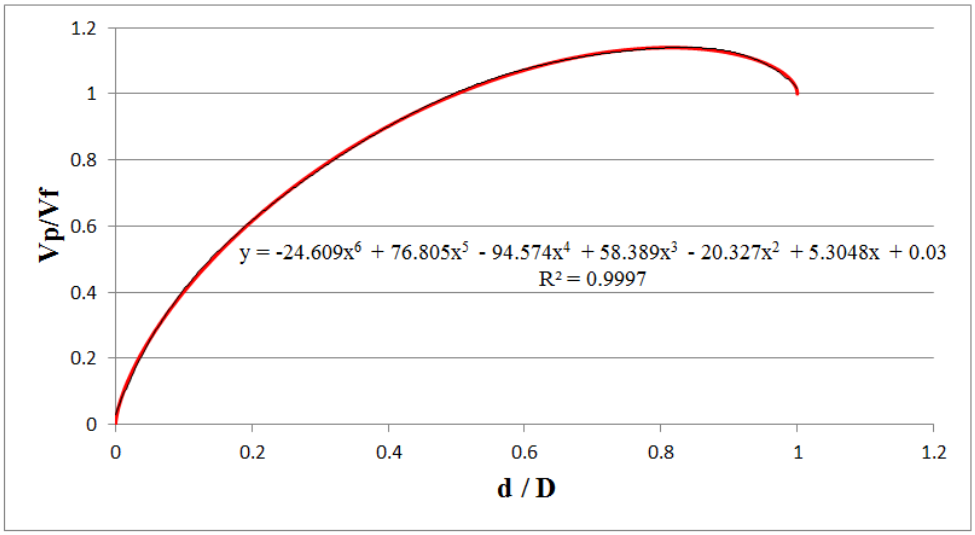
أما إذا كانت $\left(\frac{Q_P}{Q_f}\right)_{new}$ أكبر من 1 فإننا نستخدم المعادلة التي في الشكل الذي في الأسفل:



حيث يتم برمجة تلك المعادلتين (في كلتا الحالتين) على الإكسيل في نفس الخلية.

Col. (21):

يتم إيجاد قيمة $\frac{V_P}{V_f}$ بدلالة $\left(\frac{d}{D}\right)_{new}$ من المعادلة التي تم إيجادها من العلاقة بينهما والتي توضحها الصورة التالية:



حيث أن قيمة Y هي $\frac{V_P}{V_f}$ المطلوبة وقيمة X هي قيمة $\left(\frac{d}{D}\right)_{new}$

Col. (22):

يتم إيجاد قيمة السرعة في حالة الامتلاء للأنبوب (V_f) وذلك من معادلة ماننغ كما يلي:

$$V_f = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2} \quad \text{Where } R = \frac{D}{4} \quad \text{OR} \quad V_f = \frac{Q_{f,new}}{\frac{\pi}{4} \times (D_{needed(meter)})^2}$$

Col. (23):

يتم إيجاد قيمة السرعة الحقيقية التي تتحرك بها المياه في الأنبوب(V_P) كما يلي:

$$V_P = \frac{V_P}{V_f} \times V_f$$

Col. (24):

يتم عمل فحص لقيمة السرعة (V_P): هل هي ضمن المجال المسموح أم لا حيث أن السرعة يجب أن لا تقل عن 0.6m/s ويجب أن لا تزيد عن 3m/s فإذا كانت خارج هذا المجال نقول أنها أقل من القيمة الدنيا(0.6) إذا كانت كذلك أو نقول أكبر من القيمة العظمى (3) إذا كانت كذلك.

Col. (25):

إذا كانت السرعة أقل من القيمة الصغرى فهذا يعني أنه يجب زيادة السرعة لتصبح تساوي القيمة الصغرى على الأقل ويمكن ذلك عن طريق زيادة ميل الأنبوب أو زيادة قطر الأنبوب.

من ناحية أخرى إذا كانت السرعة أكبر من القيمة العظمى فإنه يجب تصغيرها وذلك عن طريق تصغير الميل أو تصغير قطر الأنبوب.

الآن وبعد الانتهاء من عملية التصميم، لا بد من ضمان تنفيذ هذه الأنابيب بالميول التي تم التصميم عليها، ولضمان ذلك لا بد من تحديد كميات أو أعماق الحفر في بداية ونهاية كل أنبوب. حيث يتم تحديد عمق الحفر في بداية الأنبوب و في نهاية الأنبوب بما يضمن تحقيق الميول الموجودة. الجدول التالي يوضح كيفية حساب عمق الحفر في بداية ونهاية كل أنبوب:

Col.(1)	Col.(2)		Col.(3)	Col.(4)		Col.(5)	Col.(6)	Col.(7)	Col.(8)	Col.(9)	Col.(10)		Col.(11)		Col.(12)		Col.(13)	Col.(14)	Col.(15)		Col.(16)		Col.(17)		Col.(18)
Pipe	Manhole		Pipe	Ground Level		Pipe	D_{needed}	D_{needed}	Min.	Pipe	Invert Level (m)		Invert Level (mod)		Excavation (m)		Modification	Modification Final	Final Excavation (m)		New Cover (m)		Final Invert Level (m)		Drop Manole
	From	To	Length	From	To	Slope	(inch)	(meter)	Cover	Thickness(m)	From	To	From	To	From	To			From	To	From	To	From	To	(Yes or No)
P1	M1	M2	26	39	37.7	0.030	8	0.2032	1	0.003	37.79	37.01	37.79	37.01	1.21	0.69	0.52	0.52	1.73	1.21	1.52	1.00	37.27	36.49	---
P2	M2	M3	23	37.7	36.5	0.030	8	0.2032	1	0.003	36.49	35.80	36.49	35.80	1.21	0.70	0.51	0.52	1.73	1.22	1.52	1.01	35.97	35.28	No
P3	M3	M4	30.5	36.5	35.9	0.020	8	0.2032	1	0.003	35.29	34.69	35.29	34.69	1.21	1.21	0.00	0.52	1.73	1.73	1.52	1.52	34.77	34.17	No
P4	M4	M5	24.5	35.9	35.5	0.016	8	0.2032	1	0.003	34.69	34.29	34.64	34.29	1.26	1.21	0.00	0.52	1.78	1.73	1.57	1.52	34.12	33.77	No
P5	M5	M6	26.5	35.5	35.0	0.019	8	0.2032	1	0.003	34.29	33.79	34.24	33.79	1.26	1.21	0.00	0.52	1.78	1.73	1.57	1.52	33.72	33.27	No
P6	M6	M7	31.5	35	34.7	0.010	8	0.2032	1	0.003	33.79	33.49	33.74	33.49	1.26	1.21	0.00	0.52	1.78	1.73	1.57	1.52	33.22	32.97	No
P7	M7	M13	41	34.7	34.2	0.012	8	0.2032	1	0.003	33.49	32.99	33.44	32.99	1.26	1.21	0.00	0.52	1.78	1.73	1.57	1.52	32.92	32.47	No
Branch																									
P8	M8	M9	24	37.5	37.0	0.021	8	0.2032	1	0.003	36.28	35.78	36.28	35.78	1.23	1.23	0.00	0.00	1.23	1.23	1.02	1.02	36.28	35.78	---
P9	M9	M11	27	37	36.0	0.030	8	0.2032	1	0.003	36.77	35.96	35.73	35.96	1.28	0.05	1.16	1.16	2.44	1.21	2.23	1.00	34.57	34.80	Yes
Branch																									
P10	M10	M11	44	35.5	36.0	0.005	8	0.2032	1	0.003	34.29	34.07	34.29	34.07	1.21	1.93	0.00	0.00	1.21	1.93	1.00	1.72	34.29	34.07	---
Branch																									
P11	M11	M12	26.5	36	35.2	0.030	8	0.2032	1	0.003	34.77	33.9718	34.77	33.9718	1.236	1.2	0.00	0.00	1.24	1.23	1.03	1.02	34.77	33.97	---
P12	M12	M13	26.5	35.2	34.2	0.030	8	0.2032	1	0.003	33.97	33.1718	33.9218	33.1718	1.281	1.0	0.18	0.18	1.46	1.21	1.25	1.00	33.74	32.99	No
Branch																									
P13	M14	M15	41	38.5	38.0	0.012	8	0.2032	1	0.003	37.28	36.785	37.285	36.785	1.218	1.218	0.000	0.000	1.22	1.22	1.01	1.01	37.28	36.78	---
P14	M15	M16	37.5	38	37.5	0.013	8	0.2032	1	0.003	36.78	36.283	36.735	36.283	1.268	1.220	0.000	0.000	1.27	1.22	1.06	1.01	36.73	36.28	No
P15	M16	M17	41	37.5	37.0	0.012	8	0.2032	1	0.003	36.28	35.785	36.233	35.785	1.270	1.218	0.000	0.000	1.27	1.22	1.06	1.01	36.23	35.78	No
P16	M17	M18	26.5	37	36.0	0.030	8	0.2032	1	0.003	35.77	34.972	35.735	34.972	1.268	1.031	0.178	0.178	1.45	1.21	1.24	1.00	35.56	34.79	No
P17	M18	M19	24	36	35.0	0.030	8	0.2032	1	0.003	34.77	34.047	34.767	34.047	1.236	0.956	0.253	0.253	1.49	1.21	1.28	1.00	34.51	33.79	No
P18	M19	M21	30.5	35	34.5	0.016	8	0.2032	1	0.003	33.78	33.280	33.780	33.280	1.223	1.223	0.000	0.000	1.22	1.22	1.01	1.01	33.78	33.28	No
Branch																									
P19	M20	M21	39	35.2	34.5	0.018	8	0.2032	1	0.003	33.979	33.28	33.98	33.98	1.224	1.2	0.00	0.00	1.22	1.22	1.0149	1.01495	33.98	33.28	---
Branch																									
P20	M21	M22	25	34.5	34.0	0.020	8	0.2032	1	0.003	33.28	32.78	33.28	32.78	1.23	1.23	0.00	0.00	1.23	1.23	1.02	1.02	33.28	32.78	---
P21	M22	M24	26	34	33.0	0.030	8	0.2032	1	0.003	32.77	31.99	32.73	31.99	1.28	1.02	0.19	0.19	1.47	1.21	1.26	1.00	32.54	31.80	No
Branch																									
P22	M13	M23	38	34.2	33.6	0.016	8	0.2032	1	0.003	32.98	32.38	32.98	32.38	1.22	1.22	0.00	0.00	1.22	1.22	1.0128	1.01279	32.98	32.38	---
P23	M23	M24	42	33.6	33.0	0.014	8	0.2032	1	0.003	32.38	31.78	32.33	31.78	1.27	1.22	0.00	0.00	1.27	1.22	1.0628	1.01129	32.33	31.78	No
Branch																									
P24	M24	T.P.	32.5	33	32.0	0.030	8	0.2032	1	0.003	31.77	30.79	31.77	30.79	1.24	1.21	0.00	0.00	1.24	1.21	1.03	1.00	31.77	30.79	---
End of Network																									

نلاحظ أن الجدول يحتوي على 18 عمود وفيما يلي توضيح هذه الأعمدة بالتفصيل:

From Col. (1) to Col. (7):

يتم أخذ هذه الأعمدة كما هي من الجدول الذي تم اعداده مسبقا في عملية التصميم حيث أنها تلزم هنا.

Col. (8):

يتم حساب أقل سمك (غطاء) من التربة مسموح به، حيث أن هذا الغطاء يعتبر حماية للأنبوب من الأحمال المعرض لها الطريق وبالتالي يجب الحفاظ عليه على الأقل، حيث أن هذا الغطاء يعتمد بشكل أساسي على قطر الأنبوب (بالإنش) كما يوضح الجدول التالي:

D (inch)	Depth below design level (m)
4	0.7
6	0.8
8	1.0
10	1.0
12	1.0
14	1.2
16	1.3

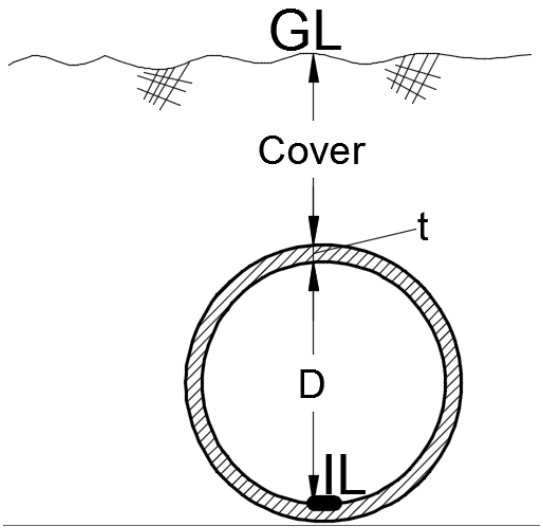
كما نعلم أن أقل قطر مسموح به هو 8 إنش وبالتالي فإن الأقطار من 8 إلى 12 إنش تتطلب غطاء 1 متر على الأقل والقطر 14 إنش يتطلب غطاء 1.2 متر على الأقل والأقطار التي تزيد عن 14 تتطلب 1.3 متر على الأقل حيث يتم برمجة ذلك على الإكسيل باستخدام دالة IF كما يلي: If (D <=12,1,if(D =14,1.2,1.3))

Col. (9):

يتم وضع سمك الأنابيب, حيث أن السمك يكون ثابت لجميع الأنابيب وهذا السمك يلزم في الحسابات كم سيتضح لاحقا، هنا في المشروع تم استخدام أنابيب UPVC بسمك 3 ملم، لكن لو كانت الأنابيب المستخدمة مصنوعة من الخرسانة فيكون السمك حينها على الأقل 5 سم ويكون له تأثير في الحسابات لذلك لا بد من أخذه في الاعتبار.

Col. (10):

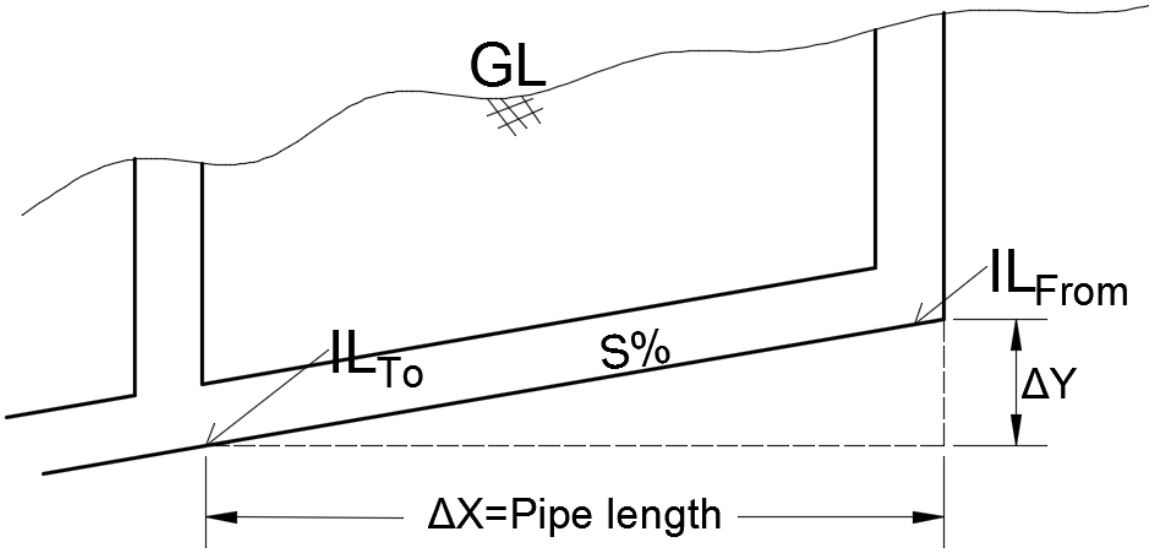
هذه القيمة مهمة جدا في حسابات كميات الحفر وهي منسوب قاع الأنبوب من الداخل كما يتضح في الشكل التالي:



يتم حساب هذه القيمة في بداية كل أنبوب (From) كما يلي:

$$IL_{From} = GL_{From} - Min.Cover - t - D$$

الآن نقوم بحساب IL_{To} ولكن ليس بهذه الطريقة وإنما نقوم بحسابه **بحيث يضمن الميل** الذي يجب أن يكون به الأنبوب ويمكن حسابه كما يوضح الشكل التالي:

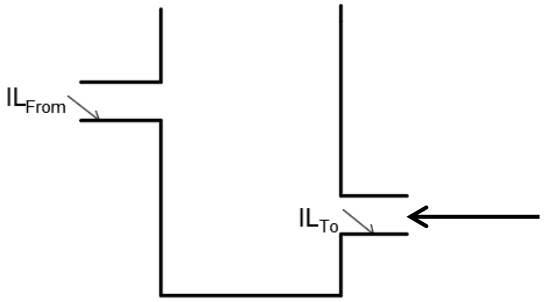


$$IL_{To} = IL_{From} - \Delta Y \quad , \quad (\Delta Y = S \times \Delta X)$$

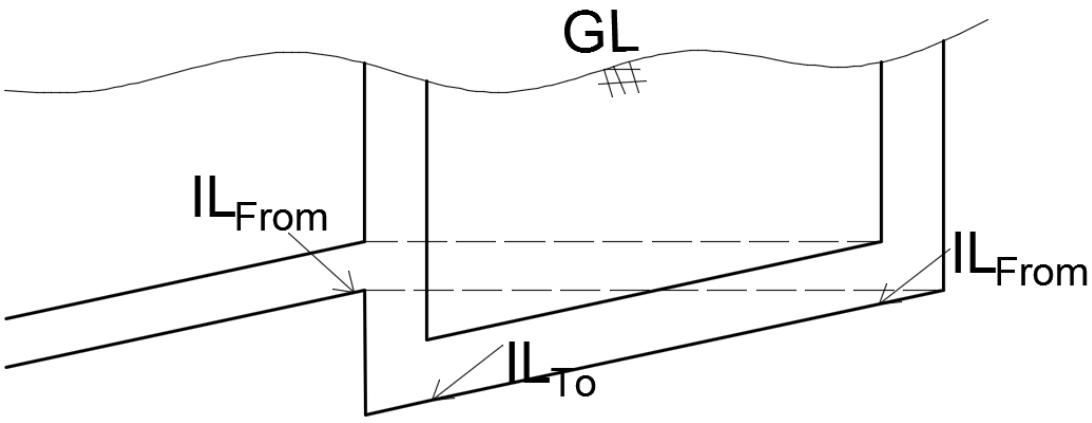
وبهذه الطريقة نكون ضمنا وضع الأنبوب بالميل الذي تم التصميم عليه والذي قد يختلف عن ميل الأرض الطبيعية (إذا تجاوز ميل الأرض الطبيعية الحد الأقصى أو قل عن الحد الأدنى للميل).

Col. (11):

في هذا العمود نريد أن نضمن أن يكون الأنبوب الداخل إلى المنهل (To) أعلى من الأنبوب الخارج من المنهل (From) ب 5 سم على الأقل وذلك حتى نضمن استمرار حركة المياه من منهل إلى آخر، حيث أننا قد نواجه في بعض الأحيان أن منسوب الأنبوب الداخل للمنهل أقل من منسوب الأنبوب الخارج منه، وبالتالي فإن المدخل يكون أقل ارتفاعا من المخرج وبالتالي يتم إعاقة حركة المياه كما يتضح في الصورة التالية:



حيث أن هذه الحالة تحدث عندما يكون ميل الأنبوب أكبر من ميل الأرض الطبيعية (أي أن ميل الأرض الطبيعية أقل من الحد الأدنى للميل) كما يتضح في الصورة التالية:



لنفرض أن ميل الأرض الطبيعية يساوي صفر تقريبا وبالتالي فإن منسوب سطح الأرض في بداية ونهاية الأنبوب تقريبا متساوي، وبالتالي فإن قيمة IL_{From} لكلا المنهلين الذين يصلا الأنبوب تكون تقريبا متساوية، لكن قيمة IL_{To} للأنبوب الداخل للمنهل يتم حسابها باستخدام ميل الأنبوب الذي هو أكبر من ميل الأرض الطبيعية، بالتالي يصبح المدخل للمنهل منخفضاً عن مخرج المنهل، ويتم تعديل ذلك كما يلي:

نبقي قيم IL_{To} التي تم حسابها في العمود رقم (10) كما هي، ولكن قيم IL_{From} ابتداءً من الأنبوب الثاني لكل فرع يتم حسابها كما يلي:

If ($IL_{To} - IL_{From} < 0.05, IL_{To} - 0.05, IL_{From}$)

حيث يتم وضع هذه البرمجة ابتداء من الخلية الثانية في كل فرع (branch) في قائمة IL_{From} وقيم IL_{From} و IL_{To} الموجودة في عملية البرمجة هي القيم الموجودة في العمود رقم 10 مع الأخذ بالاعتبار أن قيمة IL_{To} التي يتم أخذها من العمود رقم 10 هي القيمة الداخلة إلى الأنبوب كما يتضح في الصورة التالية:

Col.(10)		Col.(11)	
Invert Level (m)		**Invert Level (mod)**	
From	**To**	**From**	**To**
37.79	37.01	37.79	37.01
36.49	35.80	36.49	35.80
35.29	34.69	35.29	34.69
34.69	34.29	34.64	34.29
34.29	33.79	34.24	33.79
33.79	33.49	33.74	33.49
33.49	32.99	33.44	32.99

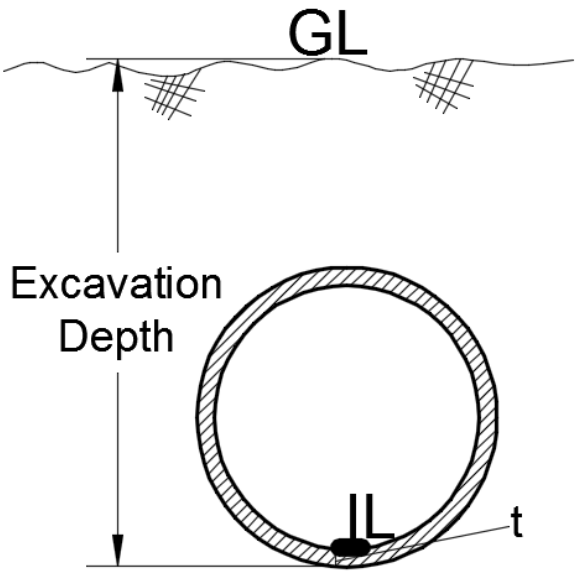
نلاحظ من القيم في العمود رقم 11 أن المخرج أصبح دائما منخفض عن المدخل بارتفاع 5 سم على الأقل.

Col. (12):

في هذا العمود يتم حساب كمية الحفر المطلوبة في بداية (From) ونهاية (To) كل أنبوب كما يتضح في الصورة التالية:

$$\text{Excavation}_{\text{From}} = \text{GL}_{\text{From}} - \text{IL}_{\text{From}} + \text{t}$$

$$\text{Excavation}_{\text{To}} = \text{GL}_{\text{To}} - \text{IL}_{\text{To}} + \text{t}$$

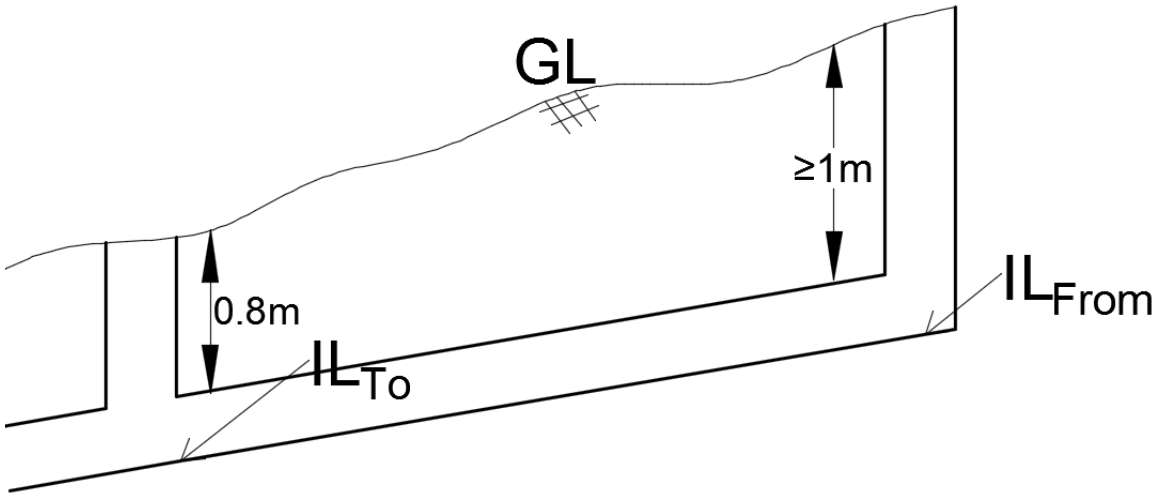


وبالتالي نكون حسبنا كمات الحفر لكل أنبوب في بدايته وفي نهايته وبالتالي نضمن تنفيذ الأنبوب بالميل المطلوب، ولكن!! هل هذا الكمية هي كمية نهائية؟ هذا ما سنتعرف عليه في العمود رقم 12 ☺

لكن يجب الأخذ بالاعتبار أن قيم ال IL الموجودة بالأعلى يتم أخذها من العمود رقم 11 (أي بعد التعديل).

Col. (13):

في بعض الأحيان يكون منسوب الأرض كبير نوعا ما حيث يتجاوز الحد المسموح به، بالتالي نجعل منسوب الأنبوب أقل من منسوب الأرض الطبيعية (3% كحد أقصى) ، وبالتالي مع زيادة طول الأنبوب فإن المسافة بين سطح الأرض وسطح الأنبوب (Cover) تقل تدريجيا حيث يمكن أن تقل هذه القيمة عن قيمة ال(Min. Cover) وهذا غير مقبول، لذلك يجب تعديل هذه القيمة (في حال حدوثها) لتصبح على الأقل تساوي (Min. Cover) أي أنه يجب تعديل كمية الحفر في هذه الحالة حتى تحقق ال (Min. Cover). هذه الحالة (إن وُجِدت) تحدث دائما في نهاية الأنبوب (To) لأن بداية الأنبوب تحقق دائما ال(Min. Cover) أما نهاية الأنبوب فهي تحقق ميل الأنبوب كما أوضحنا سابقا.



لأننا حسبنا قيمة ال IL_{From} من خلال ال Min. Cover ، بالتالي فإن بداية الأنبوب تحقق دائما قيمة أقل غطاء مطلوب، لكن لأننا حسبنا IL_{To} من خلال ميل الأنبوب فإنه قد يكون الغطاء في نهاية الأنبوب أقل من الغطاء المطلوب (Min. Cover) كما في الشكل أعلاه حيث أن الغطاء الموجود في نهاية الأنبوب هو 0.8 متر مع أن أقل غطاء مطلوب هو 1 متر، بالتالي يجب تعديل قيمة الغطاء الموجودة في نهاية الأنبوب إذا كانت أقل من الغطاء المطلوب. فمثلا في الشكل أعلاه يجب أن تصبح قيمة الغطاء 1 متر ولتحقيق ذلك لا بد من حفر 0.2 متر إضافية في نهاية الأنبوب.

يتم حساب قيمة التعديل (modification) هذه (إن وُجِدت) كما يلي:

If (Excavation $_{To}$ – D–2t<min.cover,min.cover – (Excavation $_{To}$–D–2t),0)

Excavation $_{To}$ – D – 2t:

هي قيمة الغطاء الفعلي الموجود ويجب أن نتحقق هل هي أكبر من أقل غطاء مسموح به أو أكبر فإذا كانت أقل من الغطاء المسموح به يجب حساب قيمة التعديل المطلوب إضافتها وهي قيمة أقل غطاء مطروحا منها الغطاء الموجود، أما إذا كان الغطاء الموجود أكبر من أو يساوي أقل غطاء مسموح، فإننا لا نحتاج تعديل لقيمة الغطاء ونضع قيمة التعديل تساوي صفر.

Col. (14):

هنا نضع قيم التعديل يدويا كما يلي:

حتى نبقي دائما المدخل أعلى من المخرج، عند عمل تعديل وتخفيض الأنبوب إلى أسفل يجب تخفيض جميع الأنابيب التي تليه بنفس القيمة وذلك حتى نبقي مدخل كل منهل أعلى من مخرجه، وفي حال كان يوجد أكثر من تعديل في تفس الفرع (branch) فإننا نبدأ بقيمة التعديل الأولى التي تواجهنا في كل فرع، ونعممها على جميع الأنابيب التي بعدها، إلى أن نواجه أنبوب آخر به قيمة تعديل، فإذا كانت قيمة التعديل أكبر من القيمة السابقة فإننا نعتمدها ونعممها على الأنابيب التي بعدها، أما إذا كانت أقل من القيمة السابقة فإننا نحافظ على القيمة السابقة حتى نحافظ على أن يكون المدخل أعلى من المخرج.

Col. (15):

الآن نقوم بحساب كميات الحفر النهائية والتي تحقق وجود أقل غطاء (نتيجة التعديل في العمود رقم 12) وهنا **يجب** إضافة قيمة التعديل ليس فقط في نهاية الأنبوب وإنما يجب اضافتها في بداية الأنبوب أيضا وذلك للحفاظ على نفس الميل للأنبوب حيث أنه لو تم إضافة قيمة التعديل في نهاية الأنبوب فقط فإن ميل الأنبوب يتغير وبالتالي فإن كل الحسابات تتغير، لذلك يجب الحفاظ على نفس الميل وذلك بإضافة قيمة التعديل في بداية ونهاي الأنبوب.

Final Excavation $_{From}$ = Excavation $_{From}$ + Modification Final

Final Excavation $_{To}$ = Excavation $_{To}$ + Modification Final

الآن نكون قد ضمنا تحقيق ميل جميع الأنابيب مع تحقيق قيمة أقل غطاء مسموح به في بداية ونهاية كل أنبوب وحساب الكميات النهائية للحفر.

Col. (16):

الآن نقوم بحساب قيمة الغطاء الجديدة في بداية ونهاية كل أنبوب:

New Cover $_{From}$ = Final Excavation $_{From}$ – D – 2t

New Cover $_{To}$ = Final Excavation $_{To}$ – D – 2t

Col. (17):

الآن نقوم بحساب قيمة ال Invert Level النهائية في بداية ونهاية كل أنبوب:

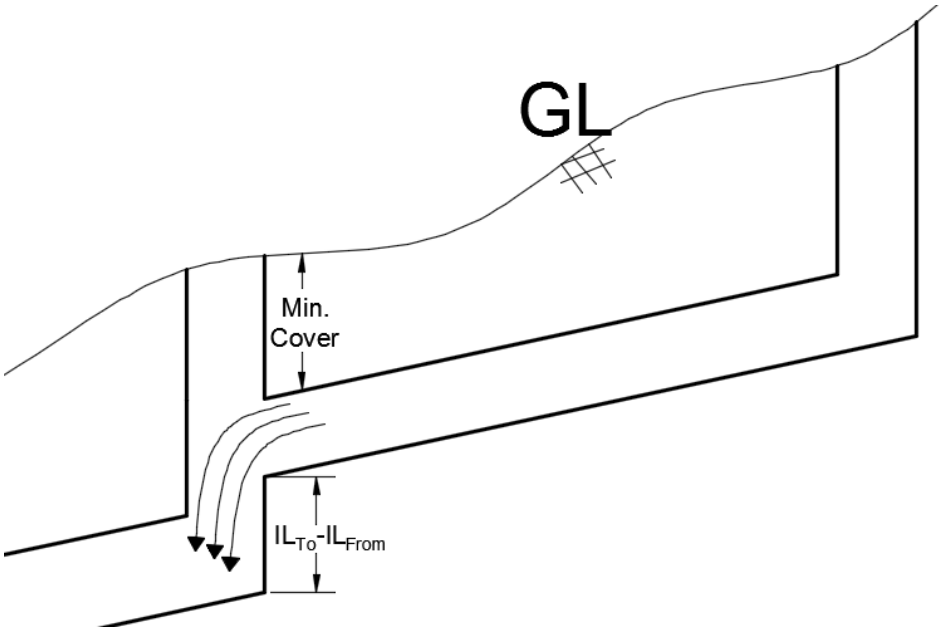
Final Invert Level $_{From}$ = Ground Level $_{From}$ – Final Excavation $_{From}$ + t

Invert Level $_{To}$ = Ground Level $_{To}$ – Final Excavation $_{To}$ + t

Col. (18):

أحيانا عندما يكون ميل الأرض الطبيعية كبير جدا (أكبر من 3%) فإننا نجعل الأنبوب بميل أقل من ميل الأرض الطبيعية وبالتالي يجب أن تكون قيمة الغطاء في بداية الأنبوب أكبر من ال Min. Cover لأنه مع زيادة طول الأنبوب تقل قيمة هذا الغطاء تدريجيا، وعند وصول قيمة الغطاء في نهاية الأنبوب إلى قيمة أقل من الغطاء المسموح فإننا نجعلها تساوي قيمة الغطاء المسموح كما تم التوضيح مسبقا، ولكن نعرف أن الأنبوب ينتهي عند المنهل ويبدأ أنبوب أخر جديد، والأنبوب الذي يبدأ من عنده يجب أن نجعل قيمة الغطاء فيه أكبر من قيمة ال Min. Cover لأنها بداية الأنبوب بالتالي فإن الأنبوب الذي يدخل لذلك المنهل يكون مرتفع مسافة معينة عن الأنبوب الخارج من هذا المنهل، أي أن المياه التي تدخل للمنهل تسقط على قاع المنهل، فإذا زادت هذه المسافة عن حد معين (60cm) فإن هذا يؤدي إلى اهتراء قاع المنهل وبالتالي يجب تجنب ذلك عن طريق جعل المياه تدخل داخل المنهل عن طريق أنبوب يصل مدخل المنهل بمخرجه. هذا المنهل الذي يكون فيه هذا الأنبوب يسمى Drop Manhole ويتم اللجوء إليه في الحالة التي تم ذكرها (إذا كانت المسافة الرأسية بين المدخل والمخرج أكبر من 60 سم).

الشكل التالي يوضح الكلام الذي تم شرحه في الأعلى:



نلاحظ من الجدول أنه في بداية كل Branch لا يمكن أن يوجد Drop Manhole وذلك لأنه لا يوجد مدخل ومخرج في أول منهل بل يوجد مخرج فقط.

لكل منهل يتم التحقق هل يلزم عمل Drop Manhole أم لا كما يلي:

If (IL_{To} - IL_{From}<0.6,"No","Yes")

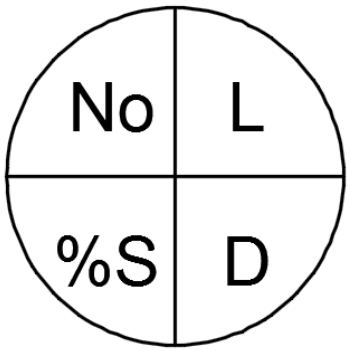
الصورة التالية توضح ذلك في الإكسيل:

Col.(15)		Col.(16)
Final Invert Level (m)		**Drop Manole (Yes or No)**
From	**To**	
37.27	36.49	---
35.98	35.29	No
35.29	34.69	No
34.69	34.29	No
34.29	33.79	No
33.79	33.49	No
33.49	32.99	No

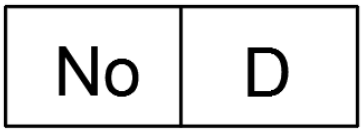
مخرجات عملية التصميم

1. من المعلوم أن المخططات هي عبارة عن المخرجات النهائية لعملية التصميم وهي التي يتم ترجمتها وتنفيذها على أرض الواقع، بالتالي بعد الانتهاء من عملية التصميم في الإكسيل، يتم وضع مخرجات تصميم كل أنبوب في المخططات النهائية التي تحتوي على تخطيط الشبكة والذي تم اعداده مسبقا والذي يحتوي على إتجاه سريان المياه في الأنابيب ومكان نقطة التجميع، يتم وضع مخرجات تصميم الأنابيب بجوار كل أنبوب كما يلي:

For each Pipe



For each Manhole



نلاحظ أن كل أنبوب يجب توضح رقمه وطوله وميله وقطره وهي المخرجات الأساسية لعملية التصميم للأنبوب حيث يتم وضع هذه الدائرة لكل أنبوب على مخطط الشبكة الذي تم إعداده سابقا.

وكل منهل يجب وضع رقمه وقطره في مخطط الشبكة.

ملاحظة:

يمكن ايجاد قطر المنهل عن طريق إيجاد عمق المنهل حيث يمكن إيجاد عمق المنهل عن طريق تحديد الأنابيب الداخلة والخارجة من هذا المنهل، وأقصى كمية حفر لهذه الأنابيب (أكثر منهل يحتاج حفر) نعتبره هو عمق المنهل ونضيف له 25 سم سمك قاعدة المنهل وبعد تحديد عمق المنهل يتم تحديد قطره حسب الجدول التالي:

Depth of manhole	Manhole dimensions
Depth ≤ 0.90 m	0.60 x 0.60 m [Square]
	Φ 0.60 m [Circular]
1.50-2.00 m	1.00x1.00 [Square]
	Φ 1.00 m [Circular]
	0.80 x 1.20 m [Rectangular]
≥ 2.00 m	Φ 1.50 m [Circular]

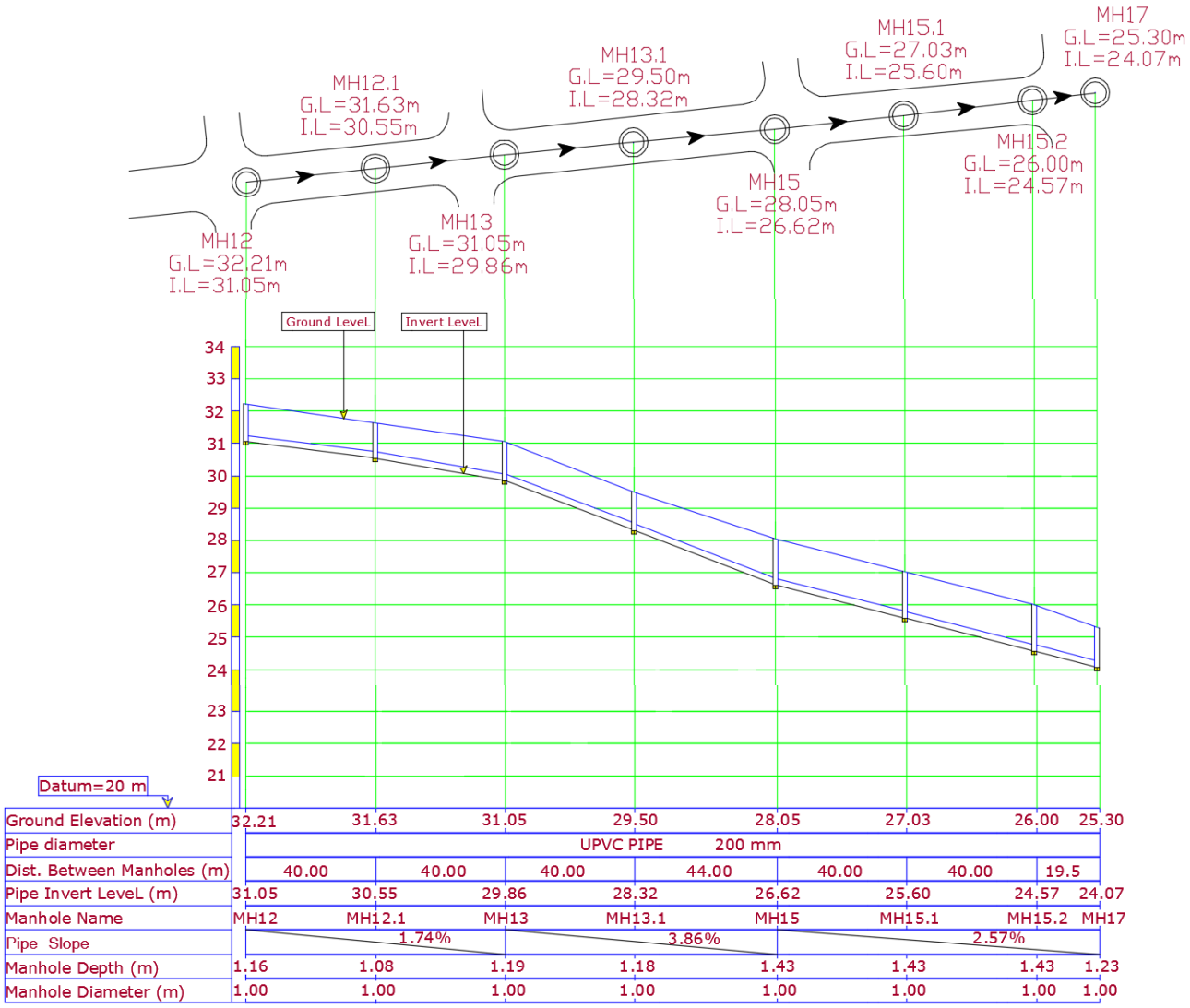
ملاحظة:

أقل كمية حفر تكون موجودة هي:

Min. Cover + Min. Diameter +2t =(1+0.2)=1.2 m

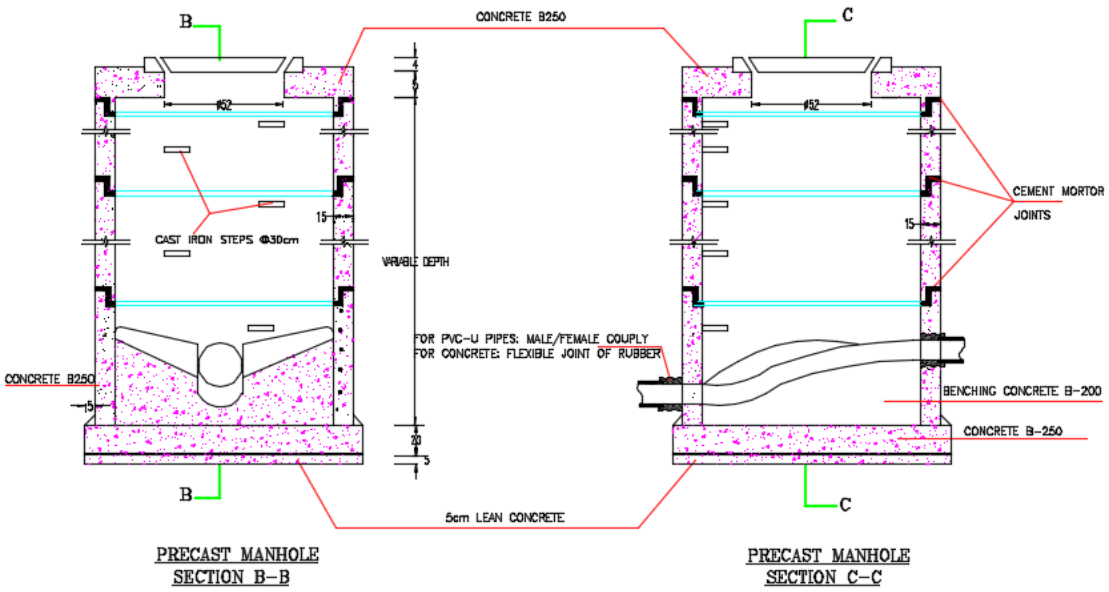
على فرض إهمال سمك الأنبوب حيث أن أقل قطر مسموح هو 8 إنش أو 0.2 متر وأقل غطاء مقابل له 1 متر. بالتالي فإن أقل عمق للمنهل هو(1.2+0.25) ويساوي 1.45 متر وبالتالي فإن قطر المناهل يكون أكبر من 60 سم وفي العادة يكون عمق المناهل ما بين 1.5 و 2 متر وبالتالي يمكن اعتبار قطر المنهل 1 متر وإذا كان عمق المنهل أقل من 1.5 وأكبر من 0.9 نأخذ قطر المنهل 0.8 متر.

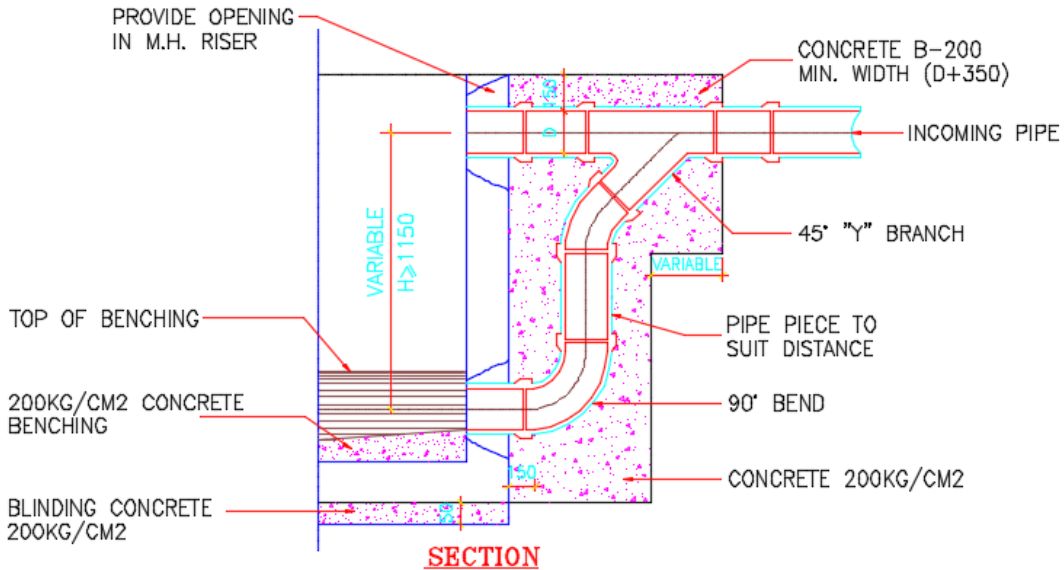
2. أحد المخرجات الهامة لعملية التصميم هو عمل مقطع طولي (Longitudinal Profile) يوضح مناسيب الأرض الطبيعية بالإضافة إلى مناسيب الأنابيب في بداية ونهاية الأنبوب وأشياء أخرى كما يتضح في الشكل التالي:



Ground Elevation (m)	32.21	31.63	31.05	29.50	28.05	27.03	26.00	25.30
Pipe diameter	UPVC PIPE 200 mm							
Dist. Between Manholes (m)	40.00	40.00	40.00	44.00	40.00	40.00	19.5	
Pipe Invert LeveL (m)	31.05	30.55	29.86	28.32	26.62	25.60	24.57	24.07
Manhole Name	MH12	MH12.1	MH13	MH13.1	MH15	MH15.1	MH15.2	MH17
Pipe Slope	1.74%			3.86%			2.57%	
Manhole Depth (m)	1.16	1.08	1.19	1.18	1.43	1.43	1.43	1.23
Manhole Diameter (m)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

3. يجب وضع تفاصيل المناهل من الداخل وتفاصيل ال Drop Manholes كما يتضح في الأشكال التالية:





Done

Design of Storm Water Networks

شبكات تصريف مياه الأمطار (Storm Water Networks)

إن الهدف الأساسي من شبكات تصريف الأمطار هو التخلص من مياه الأمطار التي تكون موجودة في الشوارع وتجنب حدوث فيضانات في الشوارع وفي المناطق السكنية، بالإضافة إلى تجميع هذه المياه في مجمعات كبيرة ليتم تنقيتها واستخدامها كمياه صالحة للشرب.

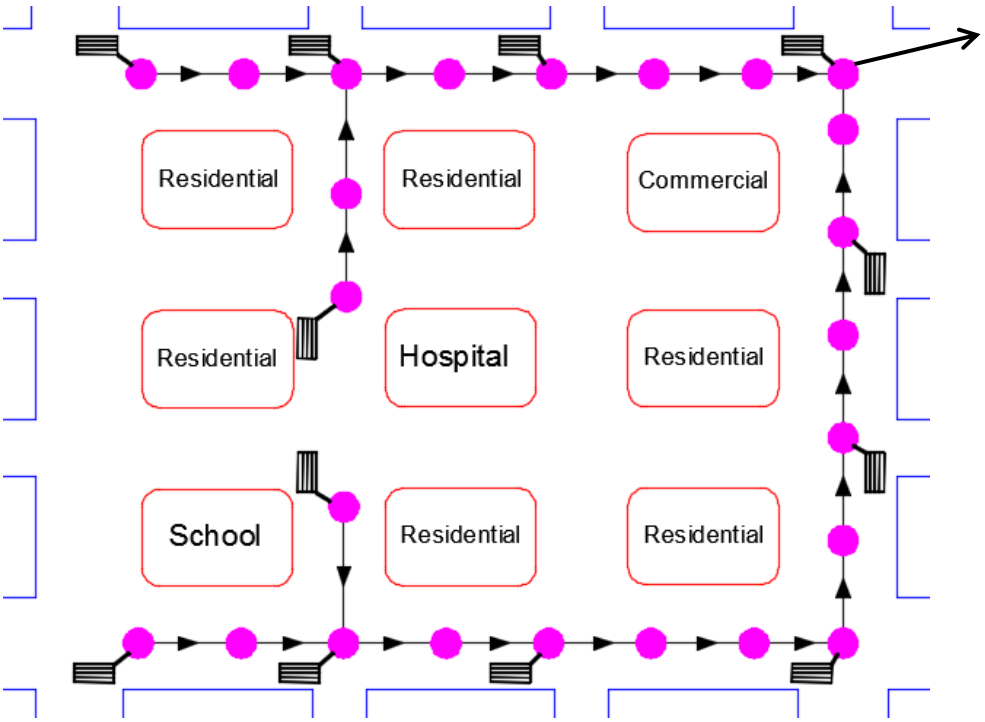
العناصر الأساسية لشبكات تصريف الأمطار

1. **المصائد (Inlets):** وهي التي تكون موجودة على جوانب الطريق حيث تقوم بتجميع (صيد) مياه الأمطار التي تجري على جوانب الطريق وهي تعتبر العنصر الأساسي للشبكة، لأنها **نقاط التجميع** الأساسية لمياه الأمطار.
2. **الأنابيب (Pipes):** وهي الخطوط الناقلة للمياه من مصدر المياه الرئيسي (المصائد الموجودة في الشوارع) إلى أن يتم تجميع هذه المياه في مكان تجميعي لجميع المياه.
3. **المناهل (Manholes):** تعتبر المناهل هنا وبشكل أساسي ركائز للأنابيب، حيث أن المناهل لا تستقبل أي كمية أمطار مباشرة من الشوارع، ولكن المناهل تأخذ مياه الأمطار من المصائد ومن ثم تقوم بنقل المياه من منهل إلى آخر باستخدام الأنابيب.
4. **حوض التجميع (Collection Plant):** له حجم معين والغرض منه تجميع جميع مياه الأمطار القادمة من المدينة لتنقيتها وإعادة استخدامها كمياه صالحة للشرب.

ملاحظة:

سوف يتم تصميم شبكة مياه الأمطار بالاعتماد بشكل أساسي على حركة المياه عن طريق الجاذبية (By gravity) تماما مثل شبكة الصرف الصحي بحيث لا نحتاج إلى مضخات.

الشكل التالي يوضح نموذج لشبكة مياه أمطار تحتوي على العناصر التي تم ذكرها بالأعلى:



مراحل تصميم شبكات الصرف الصحي

1. مرحلة الدراسات الأولية (جمع البيانات) Preliminary Study
2. مرحلة تخطيط الشبكة Network Layout
3. مرحلة التحليل والتصميم الهيدروليكي للشبكة Hydraulic Analysis and Design

والآن سوف يتم دراسة كل مرحلة من المراحل الثلاث المذكورة أعلاه بالتفصيل الدقيق.

مرحلة الدراسات الأولية (جمع البيانات) Preliminary Study

تشتمل على العديد من الخطوات وهي:

1. دراسة طبوغرافية للمنطقة (Topographic Study) وتشمل:

- ✓ **تحضير مخطط هيكلي للمنطقة (Master Plan or Land Use):** وهو نفسه تماما الذي تم تحضيره في شبكة الصرف الصحي، بحيث يوضح استخدامات الأراضي بشكل أساسي وبالتالي تحديد معامل الجريان السطحي لكل نوع من الأراضي الموجودة في المدينة (Runoff Coefficient).
- ✓ **تحضير خريطة كنتورية للمنطقة (Contour Map):** بحيث توضح خطوط الكنتور للمنطقة و تلزم هذه الخريطة في إيجاد المناسيب لتحديد اتجاه حركة مياه الأمطار في المدينة (في أي اتجاه) وذلك لتحديد النقطة النهائية لتجميع مياه الأمطار (collection point).

2. دراسة هيدرولوجية للمنطقة (Metrological and Hydrological data):

وتشمل بشكل أساسي تجميع بيانات عن شدة المطر (Rainfall Intensity) وعن المدة التي تتكرر فيها أقصى شدة مطر (Returned Period) وبالتالي إذا تم تحديد ال returned period فإنه يمكننا حساب شدة المطر عند أي فترة نريدها حيث أن شدة المطر مرتبطة بشكل أساسي مع الزمن حسب العلاقة التالية:

$$I = a \times t^b$$

I = rainfall intensity (mm/minutes)

t = duration time (minutes)

a and b are constants and related to the number of returned periods.

Note:

The above equation is fit for Gaza Strip rainfall condition.

Returned Period (T):

Depends on the type of served area by the storm water network:

- ✓ For sewers in residential areas: T = 1 to 2 years.
- ✓ For sewers in business areas: T = 2 to 5 years.
- ✓ Flooding caused by rivers: T = 10, 25, 50, 100, 500 years.

But, we design a storm water network especially for residential, so we will take T = 2 years.

a = 4.06 , b = -0.636

$\rightarrow \mathbf{I = 4.06 \times t^{-0.636}}$

3.تقرير تربة (Soil Investigation):

وذلك لتحديد معامل النفاذية للتربة، وبالتالي تحديد معامل الجريان السطحي للتربة (Runoff Coefficient).

مرحلة تخطيط الشبكة Network Layout

وتعتبر من أهم المراحل في تصميم شبكات مياه الأمطار ، فكلما كان تخطيط الشبكة جيدا كلما كانت عملية التصميم سلسة وأكثر مرونة، حيث أن التخطيط الجيد للشبكة يضمن سهولة عملية التصميم وتشغيل الشبكة بشكل جيد وبالتالي يقلل من التكلفة الإجمالية للمشروع.

توقيع عناصر شبكات مياه الأمطار:

من المعلوم أن مياه الأمطار تنزل على سطح الأرض الطبيعية ومن ثم يتم جريانها في الشوارع حيث يتم تجميعها بواسطة المصائد (inlets) التي بدورها تقوم بنقل المياه إلى المناهل والتي هي نقاط توصيل الأنابيب مع بعضها البعض، أي أن المناهل لا تعتبر نقاط تجميع لمياه الأمطار ولكنها تأخذ المياه من المصائد التي تعتبر نقاط تجميع لمياه الأمطار وبالتالي فإن كمية المياه تزداد (تصبح تراكمية بعد كل inlet وليس بعد كل manhole) في كل **branch**. فيما يلي توضيح لعناصر الشبكة وأماكن تواجدها بشكل أساسي:

❖ **المناهل (Manholes):** ويتم وضع المناهل في الشبكة في الحالات التالية:

1. عند بداية الأنبوب (في حال تم أخذ منطقة معينة ك نقطة بداية يجب وضع منهل عندها).
2. عند تغير اتجاه الانبوب (تغير اتجاه الشارع من الغرب إلى الشمال مثلا).
3. عند كل تقاطع للأنابيب (التقاء أكثر من أنبوب).
4. عند تغير قطر الأنابيب (كتوصيلة بين الأنابيب الصغيرة والأنابيب الكبيرة).
5. عند التغير في المنسوب (منسوب الأنابيب الذي يكون في العادة نفس منسوب الأرض الطبيعية).
6. يتم وضع مناهل كل مسافة معينة كمتوسط **60** متر في شبكات مياه الأمطار، حيث نلاحظ أن هذه المسافة أكبر من المسافات في شبكة الصرف الصحي وذلك لأن الأنابيب تكون موجودة في الشوارع الرئيسية فقط وبالتالي تكون أقطارها كبيرة، وتم وضع حد 60 متر فقط لتقليل التشوهات في الأنبوب لأن المسافة لو زادت عن 60 تصبح إمكانية وجود تشوهات في الأنبوب كبيرة وبالتالي تقليل العمر الزمني للأنبوب.

❖ **الأنابيب (Pipes):** تعتبر الأنابيب هي الخطوط الناقلة للمياه العادمة وبالتالي يجب توصيل الأنابيب من نقطة تجميع إلى أخرى ومن المعلوم هنا أن المياه تنتقل عن طريق الجاذبية (By Gravity) وبالتالي فإن اتجاه المياه في الأنابيب يكون من المنسوب المرتفع للمنسوب المنخفض.

❖ **المصائد (Inlets):** تعتبر المصائد نقاط التجميع الرئيسية لمياه الأمطار حيث يتم بعد ذلك وصل كل مصيدة بمنهل مجاور لها بواسطة أنبوب صغير، ويتم وضع المصائد في الحالات التالية:

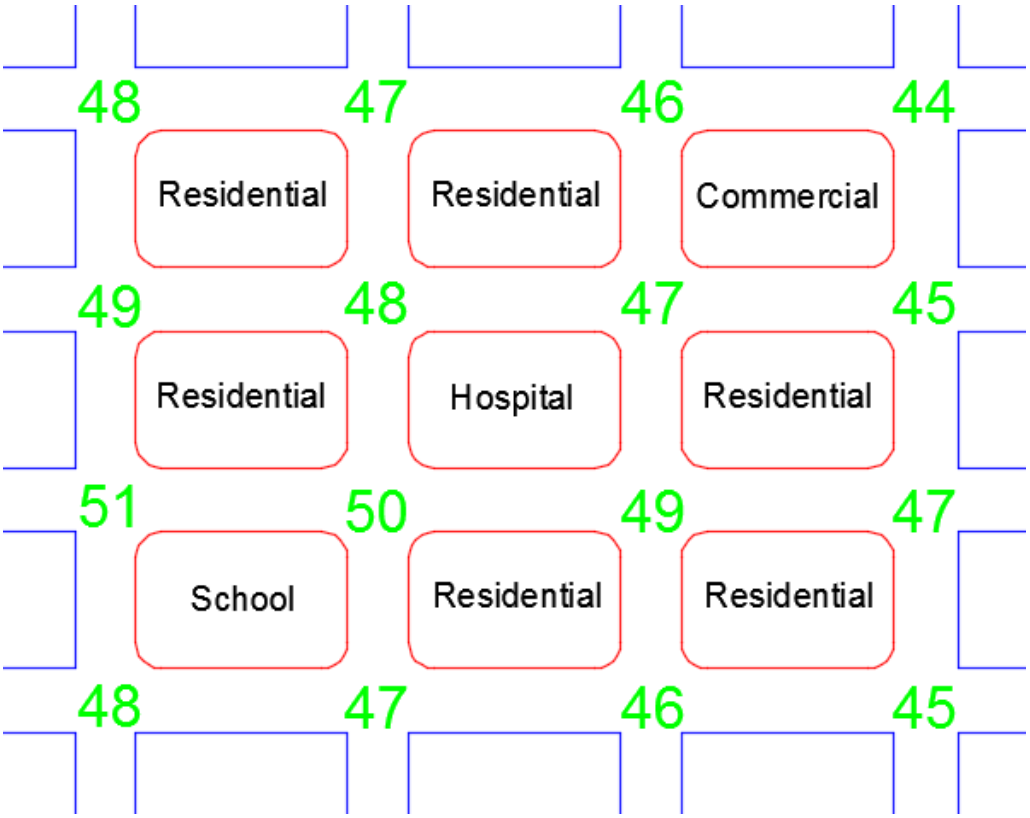
✓ في بداية كل أنبوب (Branch).

✓ قبل كل تقاطع (حيث نضعها قبل التقاطع لمنع وصول المياه للتقاطع).

✓ عند كل تغير في اتجاه الأنبوب.

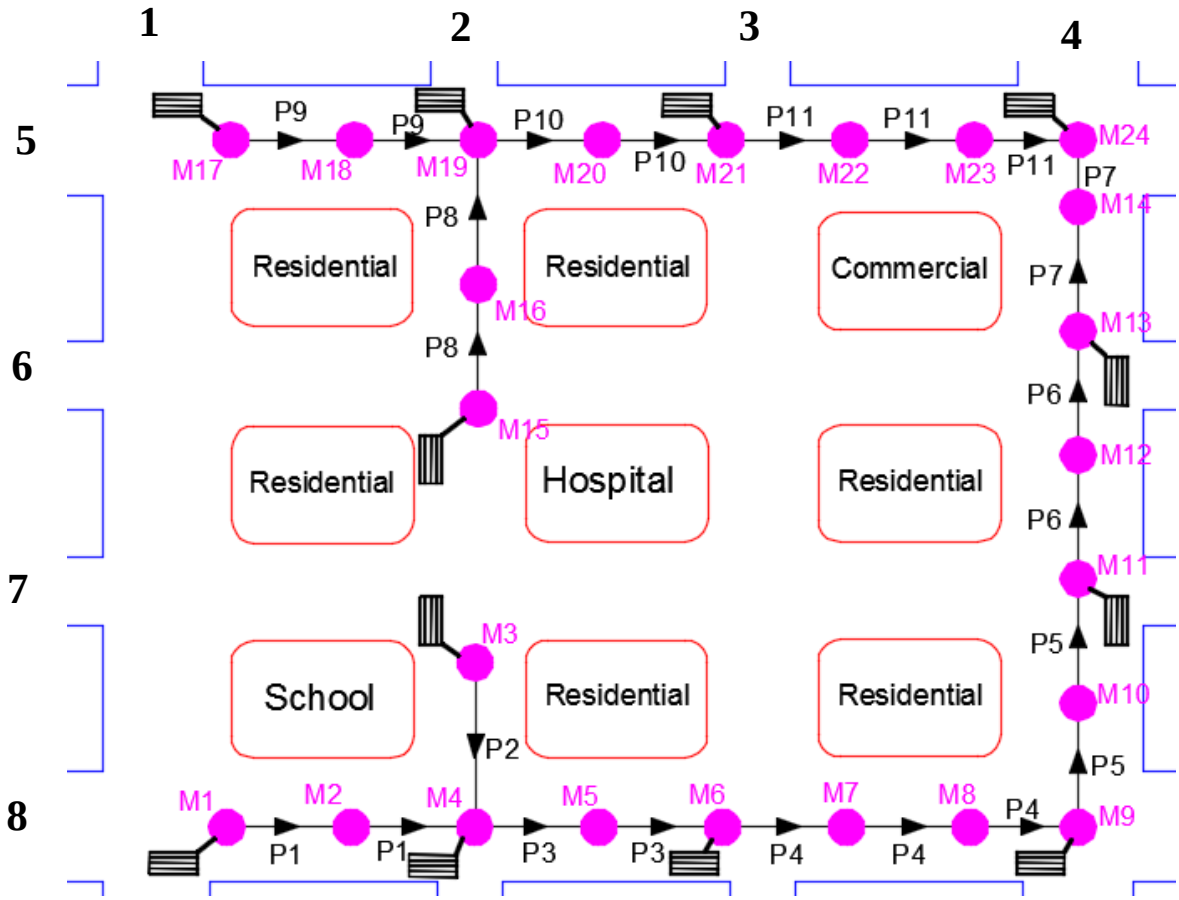
✓ كل مسافة **120** متر (كمتوسط) وبالتالي فإن كل مصيدتين يكون بينهما منهل في الغالب لأن المناهل توضع كل مسافة 60 متر، وأن كمية المياه في الأنابيب تزداد بشكل تراكمي (في نفس الbranch) بعد كل مصيدة وليس بعد كل منهل.

لنفترض أن لدينا الشكل التالي كنموذج افتراضي لمنطقة معينة موضحا عليه المناسيب:



المطلوب تخطيط شبكة مياه الأمطار لهذه المنطقة حسب ما هو موجود في المخطط.

الشكل التالي يوضح عملية التخطيط لهذه المنطقة:



الخطوات التالية توضح كيفية عمل هذه الشبكة:

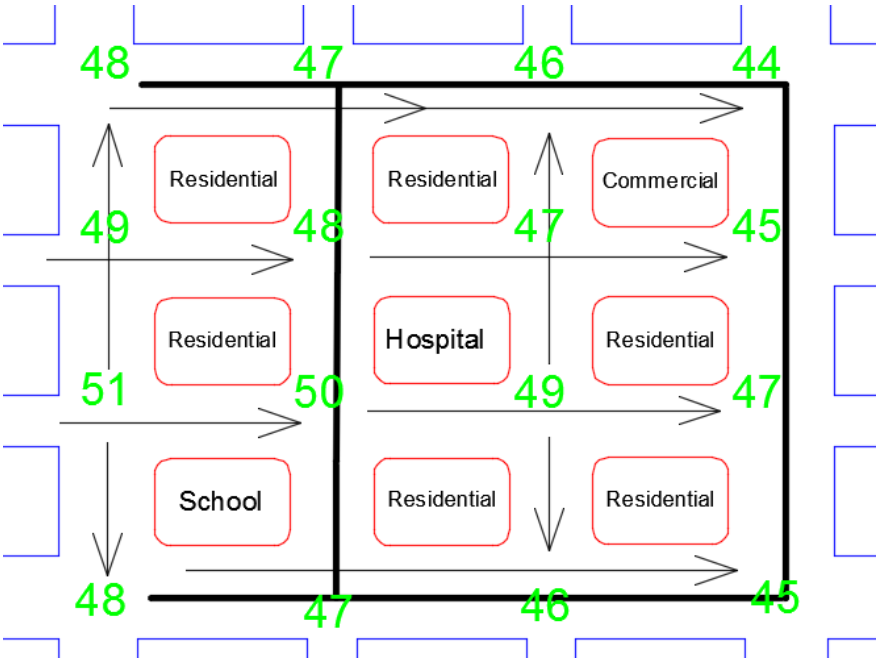
1. ترقيم الشوارع الرأسية من 1 إلى 4 والشوارع الأفقية من 5 إلى 8(الترقيم فقط للتوضيح والشرح).

2. من المهم ذكره هنا أن انابيب شبكة مياه الأمطار لا تُوضع إلا في **الشوارع الرئيسية فقط** أي لا نضعها في الشوارع الفرعية داخل المدن وإنما في شوارعها الرئيسية، بالتالي فإن عدد الأنابيب يكون قليل نوعا ما مقارنة بعدد الأنابيب في شبكة الصرف الصحي.

3. على فرض أن جميع الشوارع الموجودة في الشبكة أعلاه رئيسية (حيث أن الشوارع الفرعية تكون داخل المناطق السكنية) نلاحظ أن الشوارع رقم 1، 3، 6 و 7 لا يوجد بها أي أنابيب، لماذا؟

يتم في بداية تخطيط الشبكة تحديد الاتجاهات التي سوف تسلكها مياه الأمطار فور نزولها على سطح الأرض، وبناءً على ذلك يتم تحديد الشوارع التي يكون فيها أنابيب، حيث نلاحظ من مخطط المناسيب أن الشارع رقم 7 يعتبر كقمة الجبل حيث أنه يوجد في أعلى منطقة في المدينة وبالتالي فإن المياه سوف تتحرك بعيدا عن هذا الشارع، وبالتالي لا نضع أنابيب في هذا الشارع، لكن الشارع رقم 6 تصله مياه من المنطقة التي تلي الشارع رقم 7 وصولا للشارع رقم 6، لكن هذه المنطقة صغيرة نوعا ما، بالتالي نجعل مياه هذه المنطقة تتجمع في الشارع رقم 5، لكن ليس خطأ إن وضعنا أنابيب في الشارع رقم 6 ولكن لتقليل عدد الأنابيب، يمكن تجميع المياه كلها في الشارع رقم 5.

بنفس الآلية لا نضع أنابيب في الشارع رقم 1 لأنه يعتبر أعلى شارع رأسي ومن عنده تبدأ المياه بالانحدار جهة اليسار وبالتالي فإن المياه التي سوف تجري به قليلة، هذه المياه يمكن تجميعها في الشارع رقم 2 كما هو موضح، وأيضا يمكن تجميعها في الشارع رقم 3، لكن لتقليل عدد الأنابيب تم إلغاء الأنابيب في الشارع رقم 3 ووضع أنابيب في الشراع رقم 4 لتخدم كامل المنطقة ما بين الشارعين 2 و 4. الشكل التالي يوضح الكلام الذي في الأعلى حيث يبين الخطوط الأولية التي يتم من خلالها تحديد الشوارع التي سوف يكون بها أنابيب:



حيث أن الخطوط السميكة توضح الشوارع التي سيتم وضع أنابيب بها.

4. بعد ذلك يتم وضع المناهل حسب المعايير التي تم ذكرها في الأعلى، لكن نلاحظ في المنطقة التي بها منسوب 50 لا يمكن وضع منهل واحد هنا لأنها أعلى منطقة ولو وضعنا منهل واحد فإنه سوف يصبح مخرجين للمنهل وهذا ممنوع حسب ما تعلمنا في مشروع شبكة الصرف الصحي، وبالتالي نضع منهلين، منهل تتجه منه المياه لأسفل والآخر تتجه منه المياه لأعلى كما هو موضح في المنهلين رقم 3 ورقم 15.

5. بعد وضع المناهل، يتم وضع المصائد (inlets) وفق المعايير التي تم ذكرها في الأعلى وحسب ما هوا موضح في المخطط، ويتم وصل كل مصيدة بأقرب منهل متواجد منها.

6. بعد ذلك يتم تحديد اتجاهات حركة المياه في الأنابيب وذلك وفقاً للمناسيب الموجودة، نلاحظ في الأنبوب رقم 10 أن اتجاه حركة المياه، عكس اتجاه الجاذبية (عكس ميل الأرض) حيث سنتغلب على ذلك في مرحلة الحفر كما تعلمنا سابقاً في شبكة الصرف الصحي.

7. في النهاية نقوم بعملية تسمية المناهل والأنابيب، حيث أن تسمية المناهل تماما كما تعلمنا في شبكة الصرف الصحي مع مراعاة التفرعات (branches) أما تسمية الأنابيب فهي نفسها أيضا ولكن نلاحظ أن اسم الأنبوب يكون ثابت بين كل inlet وأخرى وذلك لأن كمية المياه في الأنابيب تكون ثابتة بين كل مصيدة وأخرى، وأن وجود المنهل لا يغير من اسم الأنبوب، لأنه يعتبر فقط كنقطة

توصيل وركيزة للأنبوب لمنع حدوث تشوهات كبيرة في الأنبوب، بالتالي فإن الأنبوب يكون اسمه ثابت دائما بين كل مصيدة وأخرى وإن كام يوجد أكثر من منهل بينهما.

مرحلة التحليل والتصميم الهيدروليكي للشبكة
(Hydraulic Analysis and Design)

سوف يتم تصميم الشبكة باستخدام برنامج MS Excel كما تم تصميم شبكة الصرف الصحي.

Design Criteria

Slope:

Min = 0.2% , Max = 3%

نلاحظ هنا أنه تم تقليل الحد الأدنى للميل وذلك لأن إمكانية وجود الرواسب قليلة في شبكات مياه الأمطار.

Velocity:

Min = 0.75 m/s , Max = 3m/s.

نلاحظ أن الحد الأدنى للسرعة تم تزويده إلى 0.75 وذلك لأن أقطار شبكة مياه الأمطار تكون كبيرة جدا مقارنة بشبكة الصرف الصحي، وبالتالي حتى تتحرك المياه بسهولة يجب أن يكون الحد الأدنى للسرعة أكبر.

Pipes:

Min Diameter = 14 inch

لأن الأنابيب تكون موجودة في الشوارع الرئيسية فقط، بالتالي تكون كمية التدفق بها عالية، وبالتالي تكون أقطارها كبيرة مقارنة بشبكات الصرف الصحي.

Use Concrete pipes with available diameters (14, 16,….80)inch

For concrete pipes >> n (manning coefficient) = 0.015

Thickness of pipes = 5 cm.

Cover:

Use soil cover = 1.5 m for all pipes.

Intensity:

Use the intensity duration relationship for 2 years returned period, which is:

$I = 4.06 \times t^{-0.636}$ (I inmm/minutes and t in minutes)

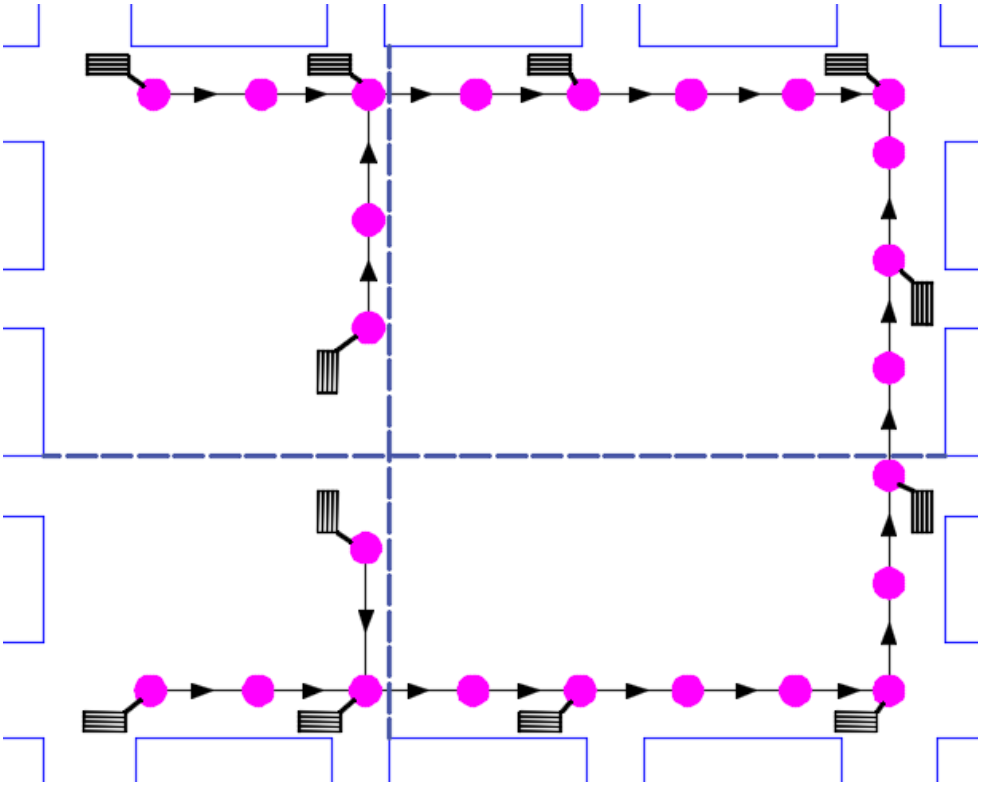
Runoff Coefficient:

It's difficult to calculate the runoff coefficient for the whole city because there are different types of land use, so we take a composite runoff coefficient of 0.85 (C_{comp} = 0.85).

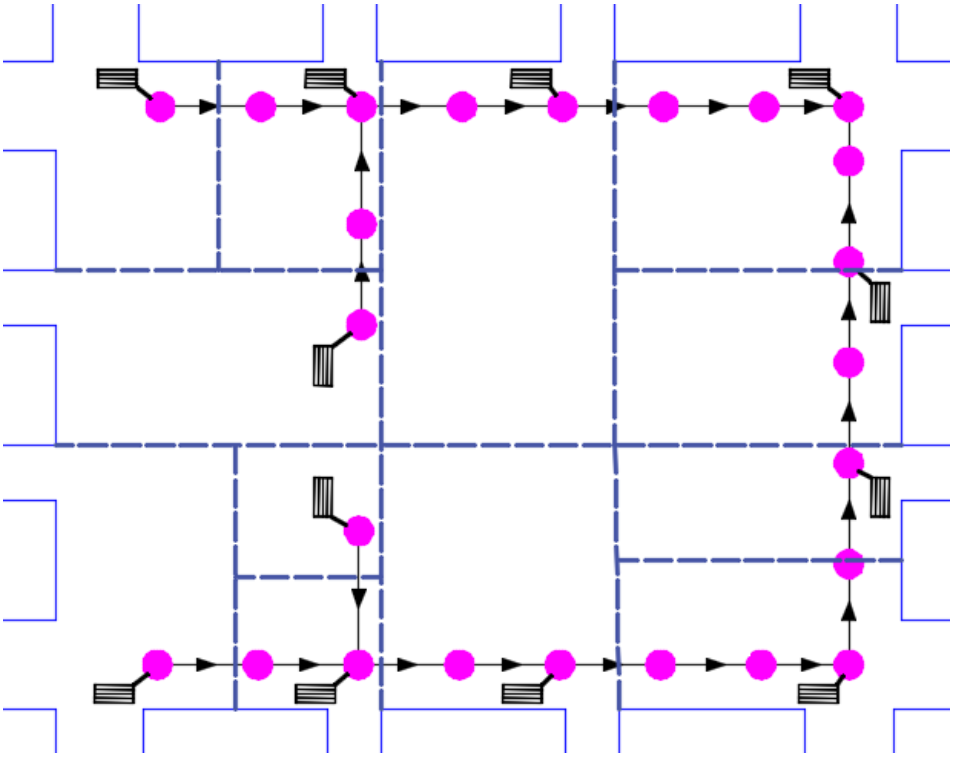
قبل البدء بعملية التصميم، نريد أن نحسب المساحة التي تخدمها كل Inlet من المدينة لأن المصائد هي نقاط تجميع المياه من الشوارع، ومن الجدير ذكره هنا أنه لا يتم توزيع المساحات بناء على الطريقة المعروفة من حيث توصيل مراكز العناصر بخطوط ومن ثم تنصيف هذه الخطوط، ليصبح حول كل عنصر مساحة معينة، وإنما يجب أن تكون المساحة منطقية حسب المنطقة التي تخدمها كل مصيدة حسب اتجاهات سريان المياه، حيث أن كل **مصيدة تخدم منطقة معينة تصب فيها.**

الخطوات التالية توضح كيفية تحديد المساحة على كل مصيدة:

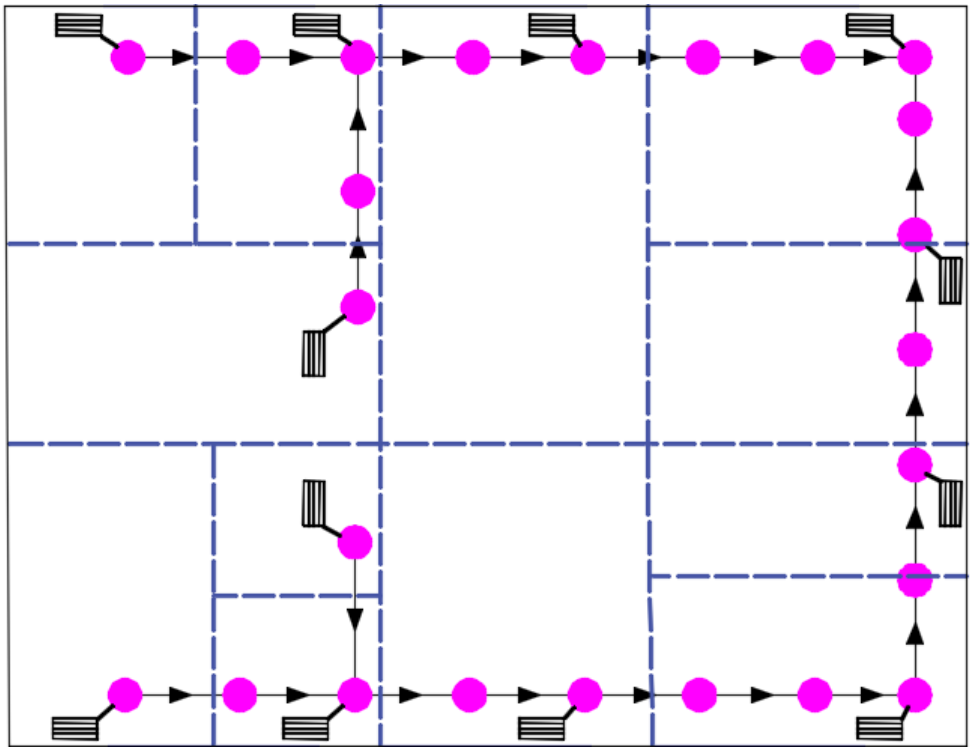
1. نقوم بفصل المناطق التي تخدمها الأنابيب عن بعضها، حيث أن الخط **المتقطع الأفقي** يفصل المنطقة التي يخدمها الأنبوب السفلي عن المنطقة التي يخدمها الأنبوب العلوي، والخط المتقطع الرأسي يفصل المناطق التي تخدمها الأنابيب الرأسية عن بعضها كما هو موضح:

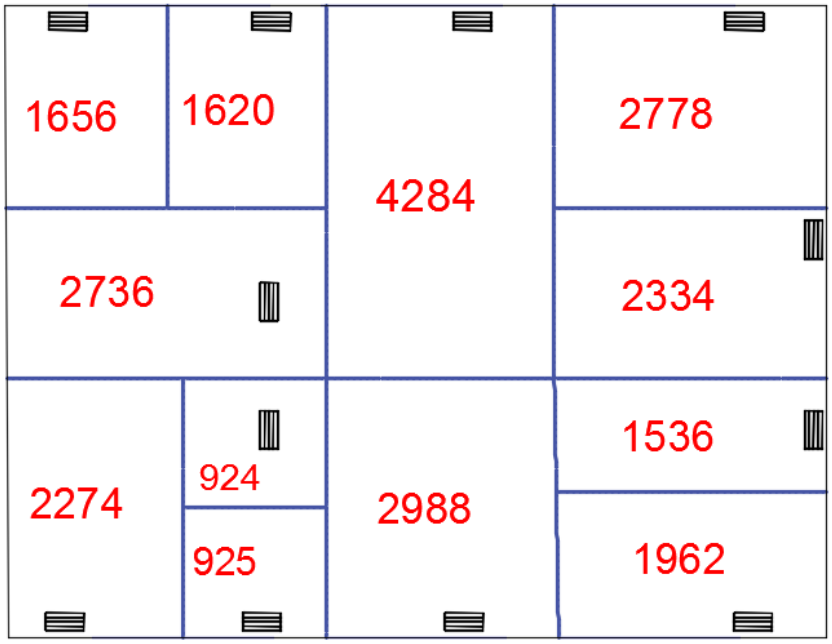


2. بعد ذلك نقوم بتقسيم المساحات مناصفة بين كل المصائد وذلك حسب المنطقة التي تخدمها كل مصيدة بناء على الحدود التي تم وضعها في الخطوة رقم 1، كما هو موضح في الشكل أدناه:

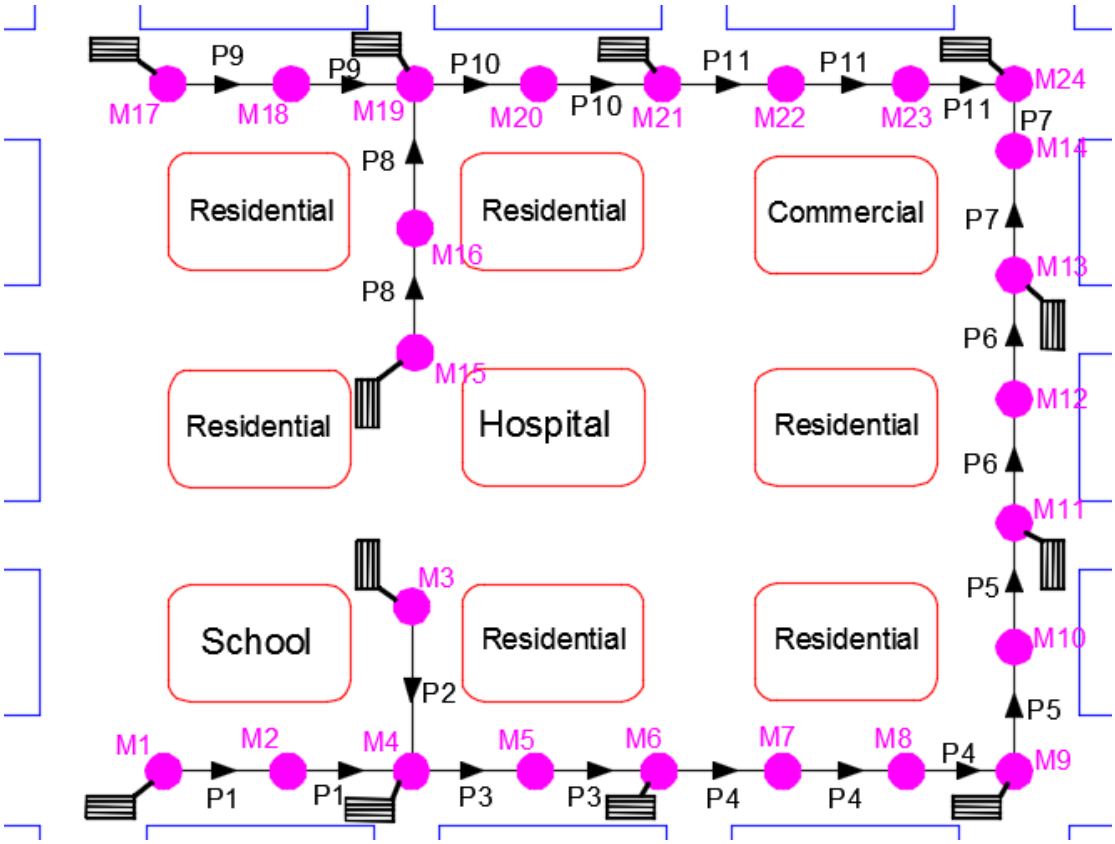


3. نقوم بإغلاق هذه المساحات حول كل مصيدة ومن ثم حساب المساحة لكل مصيدة كما يتضح في الصور التالية:





الآن نريد أن نصمم الشبكة التي تم تخطيطها مسبقا والموضحة في الشكل التالي:



الجدول التالي يوضح عملية التصميم للأنابيب الموجودة في الشبكة الموضحة أعلاه:

Col.(1)	Col.(2)		Col.(3)	Col.(4)		Col.(5)	Col.(6)		Col.(7)	Col.(8)	Col.(9)	Col.(10)	Col.(11)	Col.(12)	Col.(13)	Col.(14)
Pipe	**Manhole**		**Pipe Length**	**Ground Level**		**Ground Slope**	**Area**		$T_{c(minutes)}$	$I_{(mm/min)}$	Q_{avg} (m^3/s)	**Pipe Slop**	**D (meter)**	**D (inch)**	**D needed (inch)**	**D needed (meter)**
	From	**To**		**From**	**To**		**Each Inlet**	**Cum.**								
P1	M1	M4	120	48	47.0	0.008	2274	2274	10	0.9387	0.030240166	0.008	0.21173	8.34	14	0.3556
Branch																
P2	M3	M4	90	50	47.0	0.03333	924	924	10	0.9387	0.012287561	0.030	0.1188	4.68	14	0.3556
Branch																
P3	M4	M6	120	47	46.0	0.00833	925	4123	12.03	0.8346	0.048748146	0.008	0.25325	9.97	14	0.3556
P4	M6	M9	150	46	45.0	0.00667	2988	7111	13.77	0.7659	0.077154703	0.007	0.31369	12.35	14	0.3556
P5	M9	M11	120	45	47.0	-0.0167	1962	9073	15.9	0.6989	0.089837167	0.002	0.41623	16.39	18	0.4572
P6	M11	M13	120	47	45.0	0.01667	1536	10609	18.5	0.6348	0.095399685	0.017	0.28606	11.26	14	0.3556
P7	M13	M24	80	45	44.0	0.0125	2334	12943	19.62	0.6115	0.112117162	0.013	0.32076	12.63	14	0.3556
Branch																
P8	M15	M19	120	48	47.0	0.00833	2736	2736	10	0.9387	0.036383946	0.008	0.22694	8.93	14	0.3556
Branch																
P9	M17	M19	120	48	47.0	0.00833	1656	1656	10	0.9387	0.022021862	0.008	0.18799	7.40	14	0.3556
Branch																
P10	M19	M21	120	47	46.0	0.00833	1620	6012	12.18	0.8280	0.070524661	0.008	0.29087	11.45	14	0.3556
P11	M21	M24	150	46	44.0	0.01333	4284	10296	13.75	0.7666	0.111815427	0.013	0.31658	12.46	14	0.3556
End of Network																

Col.(15)	Col.(16)	Col.(17)	Col.(18)	Col.(19)	Col.(20)	Col.(21)	Col.(22)
$Q_{f(new)}$	$(Q_p/Q_f)_{new}$	$(d/D)_{new}$	(V_p/V_f)	V_f	V_p	**Check**	**Travel Time (minutes)**
0.120514	0.25092665	0.33152	0.8146	1.212	0.9874	OK	2.03
0.228659	0.05373745	0.15947	0.5422	2.300	1.247	OK	1.2
0.120514	0.40450204	0.44423	0.9504	1.212	1.1521	OK	1.74
0.107791	0.71578076	0.61288	1.0814	1.084	1.1725	OK	2.13
0.115397	0.7785045	0.64653	1.0972	0.702	0.7704	OK	2.6
0.170432	0.55975059	0.54661	1.041	1.714	1.7846	OK	1.12
0.147599	0.75960721	0.63505	1.0921	1.485	1.6214	OK	0.82
0.120514	0.30190647	0.36604	0.8596	1.212	1.042	OK	1.92
0.120514	0.18273286	0.28984	0.7567	1.212	0.9173	OK	2.18
0.120514	0.58519906	0.55889	1.0495	1.212	1.2722	OK	1.57
0.152439	0.73350715	0.62122	1.0856	1.533	1.6646	OK	1.5

نلاحظ أن الكثير من الأعمدة تتشابه تماماً مع تلك التي تم حسابها في شبكة الصرف الصحي، وفيما يلي شرح للأعمدة الجديدة في الجدول مع مراجعة سريعة للأعمدة المتشابهة مع شبكة الصرف الصحي:

Col. (1):

يتم وضع أسماء الأنابيب الموجودة في الشبكة مع مراعات التفرعات (branches) ومراعاة أن اسم الأنبوب يبقا ثابت بين كل مصيدتين كما أوضحنا سابقا في عملية التخطيط.

Col. (2):

يتم وضع أسماء المناهل التي في بداية ونهاية الأنبوب ونقصد هنا بالمنهل عند بداية الأنبوب أي المنهل الذي في بداية الأنبوب والمتصل بمصيدة، وأيضا المنهل في نهاية الأنبوب أي المنهل الموجود في نهاية الأنبوب والمتصل بمصيدة، حيث نلاحظ أنه يوجد مناهل في منتصف الأنبوب ولكن لا تغير من اسمه لأنه لا يدخلها أي كمية مياه خارجية، وتعتبر فقط كركيزة للأنبوب حيث نلاحظ مثلا أن الأنبوب رقم 11 فيه منهلين بين النهاية والبداية لكنهما لم يغيرا من اسمه لأنهما لا يضيفان أي كمية مياه إضافية.

Col. (3):

يتم وضع طول كل أنبوب الفعلي وهو الطول بين كل مصيدة وأخرى للأنبوب (أي الطول بين المنهلين الأساسين في بداية ونهاية الأنبوب والمتصلين بالمصائد) وهذا الطول في الغالب يكون 120، لكن أحيانا قد يكون أقل من ذلك إذا كان الأنبوب هو بداية لتفرع جديد كما هو الحال في الأنبوب رقم 2 حيث أن طوله تقريبا 90 متر، وقد يزداد طول الأنبوب عن 120 كما هو الحال في الأنبوب رقم 11 لأنه يعتبر نهاية المسار، أي أن الأطوال يمكن أن تختلف عن 120 (زيادة أو نقصان) في بداية أو نهاية التفرع.

Col. (4):

يتم وضع مناسيب الأرض الطبيعية للمناهل التي في بداية ونهاية الأنبوب وذلك من المخطط الكنتوري أو من مخطط المناسيب.

Col. (5):

يتم حساب ميل الأرض الطبيعية تماما كما تعلمنا في تصميم شبكة الصرف الصحي:

$$\text{Ground Slope (S)} = \frac{\text{Elevation}_{\text{from(upper)}} - \text{Elevation}_{\text{to(lower)}}}{\text{Pipe length}}$$

Col. (6):

هذا العمود يتكون من عمودين; العمود الأول هو المساحة التي تم تحميلها على كل مصيدة على حدة كما تم التوضيح في الأعلى، أما العمود الثاني فهو المساحة التراكمية التي يخدمها الأنبوب ويتم حسابها تماما كما تعلمنا في شبكة الصرف الصحي، بحيث تكون تراكمية في نفس الفرع (branch) ويتم حسابها يدويا بعد التقاطعات، فمثلا الأنبوب رقم 3 يحمل مساحات المصائد المتصلة بالمناهل رقم 1 و3 و4 ، وهكذا لجميع الأنابيب تماما كما تم حسابها في شبكة الصرف الصحي، ولكن هنا يتم دراسة المناهل المتصلة بالمصائد فقط وليس جميع المناهل كما في شبكة الصرف الصحي.

Col. (7):

هذا العمود خاص بحساب قيمة الزمن من بداية نزول المطر إلى أن وصل إلى المصيدة المحددة وهذا الزمن يعرف ب (Time of Concentration) حيث أن هذا الزمن تقريبا يساوي 10 دقائق، للمصيدة التي تكون موجودة في بداية branch موجود في بداية أنبوب، فمثلا قيمة هذا الزمن للمصائد المتصلة بالمناهل رقم 1 و3 و15 و17 تساوي 10 دقائق لأنهم بداية أنابيب وتفرعات، وبعد ذلك لباقي المصائد يتم حساب هذا الزمن بشكل تراكم حيث سيتم توضيح ذلك في نهاية الجدول بعد حساب العمود رقم 22 ولكن القيمة الابتدائية للمصائد الموجودة في بداية الأنابيب هي 10 دقائق.

Col. (8):

يتم في هذا العمود حساب شدة المطر (intensity) بدلالة الزمن الذي تم حسابه في العمود رقم 7 وذلك حسب المعادلة التالية:

$$I = 4.06 \times T_C{}^{-0.636} \ \ (mm/minutes)$$

Col. (9):

يتم هنا حساب كمية التدفق التي تمر عبر كل أنبوب وذلك حسب المعادلة التالي:

$$Q = CIA \ \ (m^3/s)$$

$$C = \text{runoff coefficient} = 0.85$$

$$I = \text{value calculated in Col. (8), but in } m/s)$$

$$A = \text{cumulative area on each pipe (from Col. (6))}$$

ومن أهم الملاحظات هنا على الإطلاق أن هذه الكمية يتم التعامل معها على أنها full flow وليس Partial flow وذلك يرجع إلى أن مياه الأمطار هي مياه نظيفة لا ينتج عنها غازات، بالتالي لا نحتاج إلى وجود حجم مفرغ يكون للغازات، على عكس شبكة الصرف الصحي حيث أن المياه العادمة تنتِج غازات وإذا لم يكن لهذه الغازات حيز للحركة فإنها سوف تزيد من الضغط على الأنابيب مما قد يؤدي إلى انفجار الأنابيب وإحداث كارثة بيئية.

Col. (10):

يتم مقارنة الميل الذي تم حسابها في الأعلى في العمود رقم (5) بالحدود الموجودة للميل حيث أنه يجب أن لا يقل عن 0.002 (0.2%) ويجب أن لا يزيد عن 0.03 (3%).

حيث نلاحظ أن القيمة الدنيا لهذا الميل (0.002) أقل من القيمة الدنيا في شبكات الصرف الصحي وذلك لأن احتمالية وجود رواسب في شبكات الأمطار قليلة جدا مقارنة بشبكات الصرف الصحي.

لاحظ أيضا أن الأنبوب رقم 5 تم فرض حركة المياه فيه عكس ميل الأرض الطبيعية، وبالتالي فإن ميل الأرض في هذه الحالة لهذا الأنبوب هو (-0.017) ولكن تم التغلب عليه بهذه الحدود ووضعه 0.002.

Col. (11):

يتم هنا حساب قيمة قطر الأنبوب وذلك باستخدام قيمة التدفق التي تم حسابها في العمود رقم (9) وميل الأنبوب من العمود رقم (10) ومعامل الاحتكاك(0.015) ومعادلة ماننغ كما يلي:

$$D = \left(\frac{n \times Q_f}{0.312 \times \sqrt{S}}\right)^{3/8} \quad (m)$$

Col. (12):

يتم تحويل القطر الذي تم حسابه من العمود رقم (11) من وحدة المتر إلى وحدة الإنش كما يلي:

$$D_{inch} = \frac{D_{meter} \times 100}{2.54}$$

Col. (13):

يتم مقارنة القطر الموجود بالإنش بأقل قطر مطلوب توافره وهو 14 إنش وبالتالي يتم مقارنة القيمة من العمود رقم (12) ب 14 إنش ونأخذ الأكبر حيث أن القطر لا يجب أن يقل عن 14 إنش وبعد ذلك إذا كان القطر أكبر من 14 إنش فإنه يتم تقريبه لأقرب 2 لأن الأقطار المتوفرة في السوق هي من مضاعفات ال2 وذلك باستخدام دالة (Ceiling) في الإكسيل حيث تكون الخلية في العمود رقم (13) على النحو التالي:

$$D_{needed(inch)} = Max(14, Ceiling(D_{inch}, 2))$$

Col. (14):

بعد إيجاد القيمة النهائية للقطر بالإنش، يجب إيجادها مرة أخرى بالمتر لأنها تكون قد تغيرت بعد الحسابات في العمود رقم (31) وبالتالي يتم إيجادها بالمتر كما يلي:

$$D_{needed(meter)} = \frac{D_{needed(inch)} \times 2.54}{100}$$

Col. (15):

لأن القطر أصبح له قيمة جديدة فإن قيمة التدفق الكلي Q_f تتغير ويصبح لها قيمة جديدة حسب معادلة مانننغ ويمكن إيجادها كما يلي:

$$Q_{f,new} = \frac{0.312}{n} \times \left(D_{needed(meter)}\right)^{8/3} \times S^{1/2}$$

Col. (16):

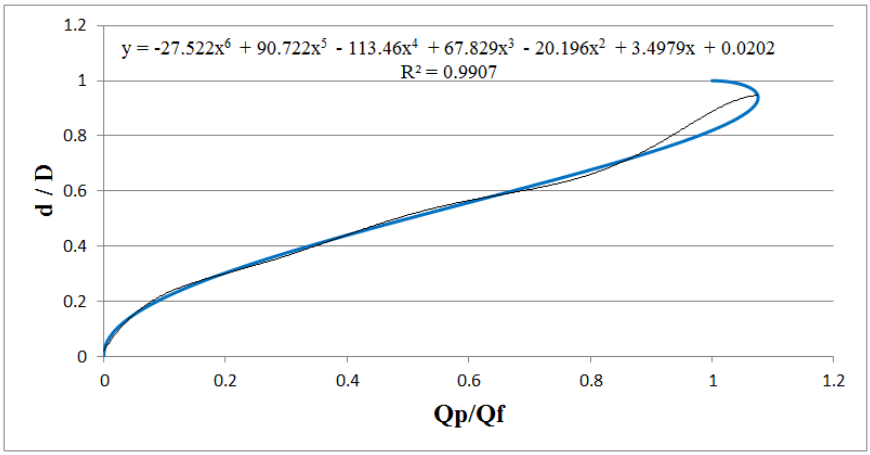
لقد قلنا في الأعلى أننا نعتبر قيمة التدفق الموجودة هي full flow وهي قيمة التدفق الفعلية التي تسير في الأنابيب، ولكن عندما تم تكبير القطر (تقريبه للأعلى) أصبحت كمية التدفق الابتدائية والتي تم حسابها في العمود رقم (9) كأنها partial flow بالنسبة للقطر الجديد، وبالتالي فإننا نحسب النسبة بين كمية التدفق القديمة إلى مية التدفق الجديدة وذلك لأن الكمية الفعلية هي كمية التدفق القديمة (عمود رقم 9) وهي تتحرك في بشكل جزئي لأن القطر تم تكبيره:

$$\left(\frac{Q_P}{Q_f}\right)_{new} = \frac{Q \text{ calculated from Col. (9)}}{Q_{f,new} \text{ from Col. (15)}}$$

ولكن يجب مراعاة أن لا تزيد هذه القيمة عن أقصى قيمة يتعرف عليها المنحنى والتي تم التعرف عليها سابقاً (1.075) لأنها لو زادت عن هذه القيمة، فإن قيم $\frac{d}{D}$ التي سوف نحسبها في العمود رقم 17 سوف لن تكون منطقية مطلقا.

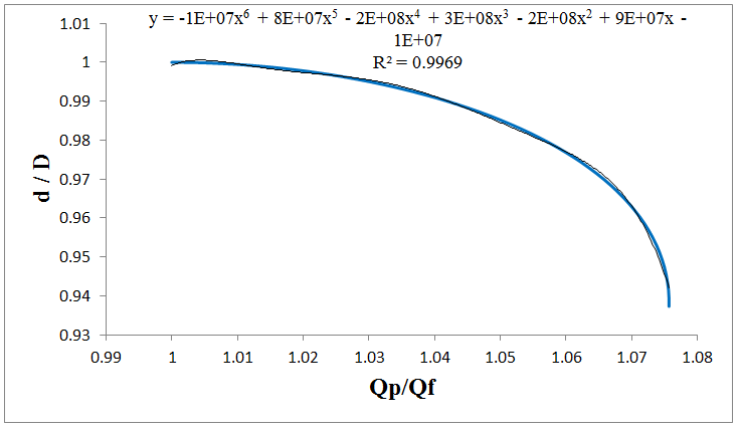
Col. (17):

مع تغير $\frac{Q_P}{Q_f}$ فإن النسبة $\frac{d}{D}$ تتغير أيضا حيث أن بينهما علاقة مباشرة ويمكن إيجاد النسبة $\frac{d}{D}$ بدلالة $\frac{Q_P}{Q_f}$ من المعادلات التي تم إيجادها من الرسومات (Regression) في شبكة الصرف الصحي كما يلي:



إذا كانت قيمة $\left(\frac{Q_P}{Q_f}\right)_{new}$ أقل من أو تساوي 1 فإننا نستخدم المعادلة الموجودة في الرسم في الأعلى حيث تكون قيمة Y هي قيمة $\left(\frac{d}{D}\right)_{new}$ المطلوبة وتكون قيمة X هي قيمة $\left(\frac{Q_P}{Q_f}\right)_{new}$ وبالتالي نجد $\left(\frac{d}{D}\right)_{new}$.

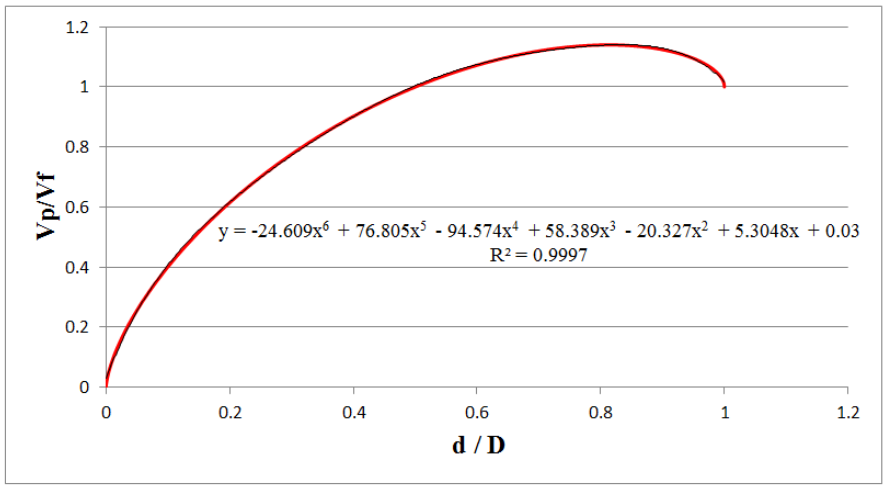
أما إذا كانت $\left(\frac{Q_P}{Q_f}\right)_{new}$ أكبر من 1 فإننا نستخدم المعادلة التي في الشكل الذي في الأسفل:



حيث يتم برمجة تلك المعادلتين (في كلتا الحالتين) على الإكسيل في نفس الخلية.

Col. (18):

يتم إيجاد قيمة $\frac{V_P}{V_f}$ بدلالة $\left(\frac{d}{D}\right)_{new}$ من المعادلة التي تم إيجادها من العلاقة بينهما والتي توضحها الصورة التالية:



حيث أن قيمة Y هي $\frac{V_P}{V_f}$ المطلوبة وقيمة X هي قيمة $\left(\frac{d}{D}\right)_{new}$

Col. (19):

يتم إيجاد قيمة السرعة في حالة الامتلاء للأنبوب (V_f) وذلك من معادلة مانغ كما يلي:

$$V_f = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2} \quad \text{Where } R = \frac{D}{4} \quad \text{OR} \quad V_f = \frac{Q_{f,new}}{\frac{\pi}{4} \times (D_{needed(meter)})^2}$$

Col. (20):

يتم إيجاد قيمة السرعة الحقيقية التي تتحرك بها المياه في الأنبوب(V_P) كما يلي:

$$V_P = \frac{V_P}{V_f} \times V_f$$

Col. (21):

يتم عمل فحص لقيمة السرعة (V_P): هل هي ضمن المجال المسموح أم لا حيث أن السرعة يجب أن لا تقل عن 0.75m/s ويجب أن لا تزيد عن 3m/s فإذا كانت خارج هذا المجال نقول أنها أقل من القيمة الدنيا(0.75) إذا كانت كذلك أو نقول أكبر من القيمة العظمى (3) إذا كانت كذلك.

نلاحظ أن الحد الأدنى للسرعة هنا هو (0.75) وهو أكبر من الحد الأدنى للسرعة في شبكات الصرف الصحي (0.6) وذلك لأن الأقطار في شبكات الأمطار تكون كبيرة جدا مقارنة بشبكات الصرف الصحي، وبالتالي لذمان سهولة حركة المياه في الأنابيب.

Col. (22):

يتم هنا حساب الزمن الذي استغرقته المياه في الأنبوب وذلك من خلال قسمة طول الأنبوب على السرعة التي تتحرك بها المياه في الأنبوب حيث يكون هذا الزمن بالثواني ومن ثم تحويله إلى دقائق من خلال قسمته على 60:

$$\text{Travel Time (min)} = \left(\frac{\text{Pipe length}}{V_P}\right)/60$$

الآن ماذا نستفيد من هذا الزمن؟؟ نستفيد منه بحساب الزمن الكلي من بداية نزول المطر وحتى وصول المياه إلى المصيدة، والذي تم حسابه في العمود رقم (7) حيث نضع القيمة الأولية لبداية نزول المطر وصولا لأول مصيدة 10 دقائق، ومن ثم نبدأ بإضافة الزمن الذي استغرقته المياه وصولا للمصيدة الأخرى، فمثلا المياه استغرقت 10 دقائق للوصول إلى المصيدة المتصلة بالمنهل رقم 1 والمنهل رقم 3، أما المصيدة المتصلة بالمنهل رقم 4 استغرقت المياه لتصلها 10 دقائق بالإضافة للزمن الأكبر من المنهل رقم 1 والمنهل رقم 3 حيث نجد الزمن من المنهل رقم 1 للمنهل رقم 4 هو2.03 دقائق بينما الزمن من المنهل رقم 3 للمنهل رقم 4 هو 1.2، بالتالي فإن الزمن الذي استغرقته المياه من بداية نزلها حتى وصلت للمصيدة المتصلة بالمنهل رقم 4 هو: 10+2.03 = 12.03 دقائق، وهكذا... حيث يكون ذلك الزمن تراكمي من بداية نزول المطر إلى أن تصل المياه للمصيدة. أي أن قيم الزمن في العمود رقم 9 يتم حسابها بعد الانتهاء من حساب القيم في العمود رقم 22 للأنابيب التي قبلها.

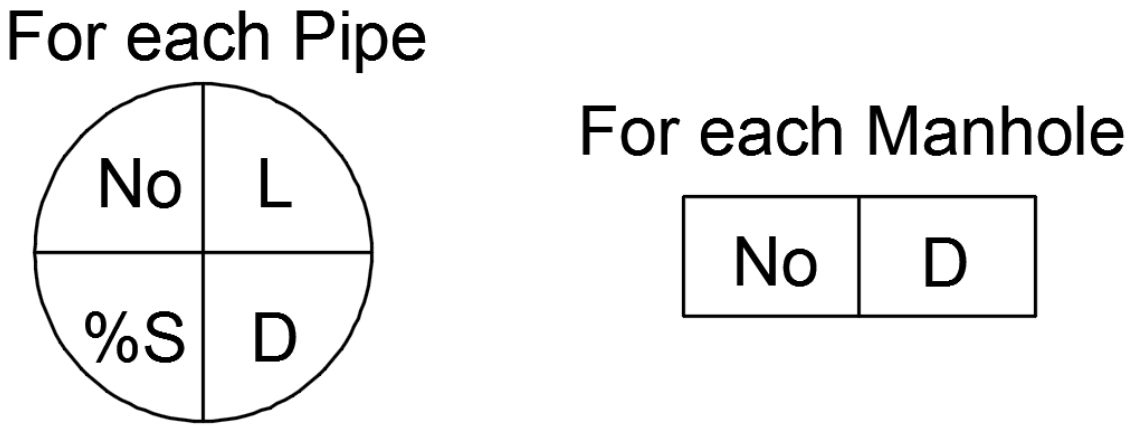
الآن وبعد الانتهاء من عملية التصميم، لا بد من ضمان تنفيذ هذه الأنابيب بالميول التي تم التصميم عليها، ولضمان ذلك لا بد من تحديد كميات أو أعماق الحفر في بداية ونهاية كل أنبوب. حيث يتم تحديد عمق الحفر في بداية الأنبوب و في نهاية الأنبوب بما يضمن تحقيق الميول الموجودة. الجدول التالي يوضح كيفية حساب عمق الحفر في بداية ونهاية كل أنبوب:

Col.(1)	Col.(2)		Col.(3)	Col.(4)		Col.(5)	Col.(6)	Col.(7)	Col.(8)	Col.(9)	Col.(10)		Col.(11)		Col.(12)		Col.(13)	Col.(14)	Col.(15)		Col.(16)		Col.(17)		Col.(18)
Pipe	Manhole		Pipe Length	Ground Level		Pipe Slope	D_{needed} (inch)	D_{needed} (meter)	Cover	Pipe Thickness(m)	Invert Level (m)		Invert Level (mod) (m)		Excavation (m)		Modification	Modification Final	Final Excavation (m)		New Cover (m)		Final Invert Level (m)		Drop Manole (Yes or No)
	From	To		From	To						From	To	From	To	From	To			From	To	From	To	From	To	
P1	M1	M4	120	48	47	0.01	14	0.36	1.50	0.05	46.09	45.09	46.09	45.09	1.96	1.96	0.00	0.00	1.96	1.96	1.50	1.50	46.09	45.09	---
Branch																									
P2	M3	M4	90	50	47	0.03	14	0.36	1.50	0.05	48.09	45.39	48.09	45.39	1.96	1.66	0.30	0.30	2.26	1.96	1.80	1.50	47.79	45.09	---
Branch																									
P3	M4	M6	120	47	46	0.01	14	0.36	1.50	0.05	45.09	44.09	45.09	44.09	1.96	1.96	0.00	0.00	1.96	1.96	1.50	1.50	45.09	44.09	---
P4	M6	M9	150	46	45	0.01	14	0.36	1.50	0.05	44.09	43.09	44.04	43.09	2.01	1.96	0.00	0.00	2.01	1.96	1.55	1.50	44.04	43.09	No
P5	M9	M11	120	45	47	0.00	18	0.46	1.50	0.05	42.99	42.75	42.99	42.75	2.06	4.30	0.00	0.00	2.06	4.30	1.50	3.74	42.99	42.75	No
P6	M11	M13	120	47	45	0.02	14	0.36	1.50	0.05	45.09	43.09	42.70	43.09	4.35	1.96	0.00	0.00	4.35	1.96	3.89	1.50	42.70	43.09	No
P7	M13	M24	80	45	44	0.01	14	0.36	1.50	0.05	43.09	42.09	43.04	42.09	2.01	1.96	0.00	0.00	2.01	1.96	1.55	1.50	43.04	42.09	No
Branch																									
P8	M15	M19	120	48	47	0.01	14	0.36	1.50	0.05	46.09	45.09	46.09	45.09	1.96	1.96	0.00	0.00	1.96	1.96	1.50	1.50	46.09	45.09	---
Branch																									
P9	M17	M19	120	48	47	0.01	14	0.36	1.50	0.05	46.09	45.09	46.09	45.09	1.96	1.96	0.00	0.00	1.96	1.96	1.50	1.50	46.09	45.09	---
Branch																									
P10	M19	M21	120	47	46	0.01	14.00	0.36	1.50	0.05	45.09	44.09	45.09	44.09	1.96	1.96	0.00	0.00	1.96	1.96	1.50	1.50	45.09	44.09	---
P11	M21	M24	150	46	44	0.01	14.00	0.36	1.50	0.05	44.09	42.09	44.04	42.09	2.01	1.96	0.00	0.00	2.01	1.96	1.55	1.50	44.04	42.09	No
End of Network																									

الحسابات في هذا الجدول نفسها تماما مثل الحسابات في مشروع شبكة الصرف الصحي، بالتالي لا داعي إلى شرح كيفية حسابها، لكن يجب الأخذ بالاعتبار أن الغطاء الخرساني لجميع الأنابيب هو 1.5 متر، وأن سمك الأنبوب مصنوع من الخرسانة وله سمك 5سم.

مخرجات عملية التصميم

1. من المعلوم أن المخططات هي عبارة عن المخرجات النهائية لعملية التصميم وهي التي يتم ترجمتها وتنفيذها على أرض الواقع، بالتالي بعد الانتهاء من عملية التصميم في الإكسيل، يتم وضع مخرجات تصميم كل أنبوب في المخططات النهائية التي تحتوي على تخطيط الشبكة والذي تم اعداده مسبقا والذي يحتوي على اتجاه سريان المياه في الأنابيب ومكان نقطة التجميع، يتم وضع مخرجات تصميم الأنابيب بجوار كل أنبوب كما يلي:



نلاحظ أن كل أنبوب يجب توضح رقمه وطوله وميله وقطره وهي المخرجات الأساسية لعملية التصميم للأنبوب حيث يتم وضع هذه الدائرة لكل أنبوب على مخطط الشبكة الذي تم إعداده سابقا.
وكل منهل يجب وضع رقمه وقطره في مخطط الشبكة.

ملاحظة:
يمكن ايجاد قطر المنهل عن طريق إيجاد عمق المنهل حيث يمكن إيجاد عمق المنهل عن طريق تحديد الأنابيب الداخلة والخارجة من هذا المنهل، وأقصى كمية حفر لهذه الأنابيب (أكثر منهل يحتاج حفر) نعتبره هو عمق المنهل ونضيف له 25 سم سمك قاعدة المنهل وبعد تحديد عمق المنهل يتم تحديد قطره حسب الجدول التالي:

Depth of manhole	Manhole dimensions
Depth ≤ 0.90 m	0.60 x 0.60 m [Square]
	Φ 0.60 m [Circular]
1.50-2.00 m	1.00x1.00 [Square]
	Φ 1.00 m [Circular]
	0.80 x 1.20 m [Rectangular]
≥ 2.00 m	Φ 1.50 m [Circular]

ملاحظة:

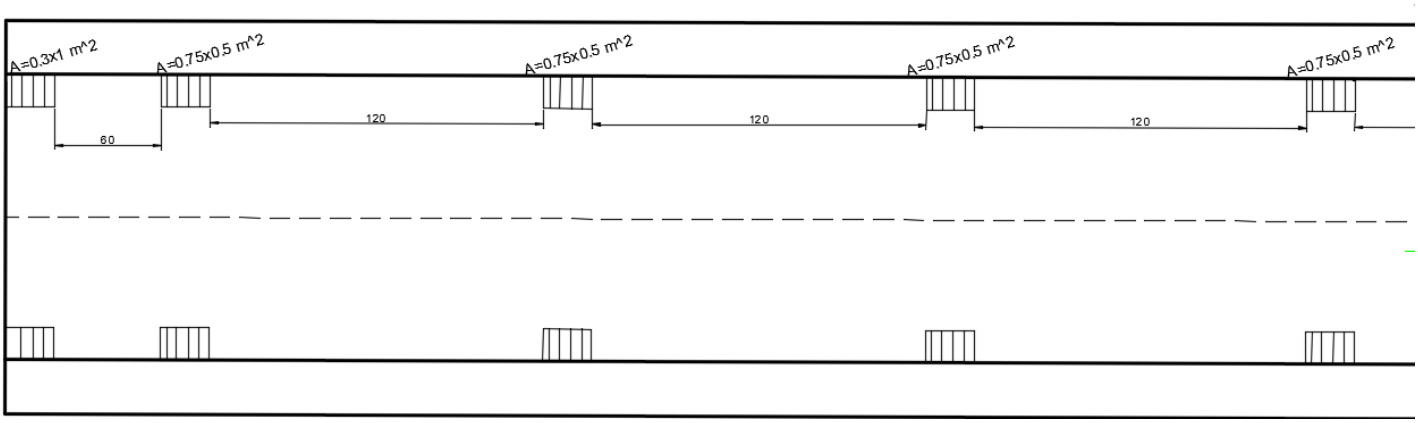
أقل كمية حفر تكون موجودة هي:

Min. Cover + Min. Diameter +2t =(1.5+0.35+0.1)=1.95 m

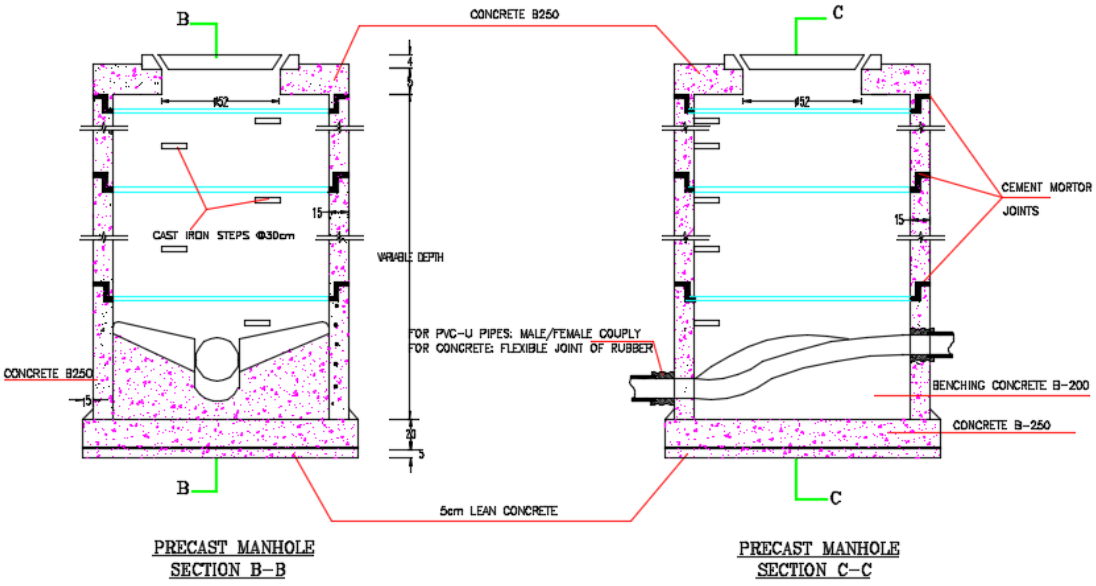
حيث أن ال 1.5 هو الغطاء الخرساني الذي تم اعتماده، وال 0.35 هو أقل قطر مستخدم (14 إنش) وال 0.1 هو مجموع سماكتي الأنبوب (على فرض سمك الأنبوب 5 سم) وبالتالي فإن قطر المنهل الذي يتم اعتماده في شبكات مياه الأمطار هو **2 متر.**

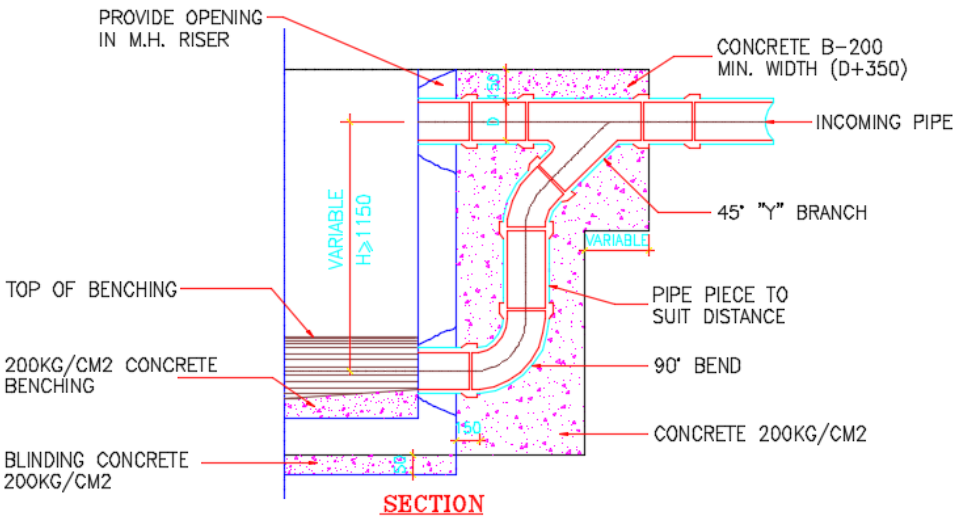
2. أحد المخرجات الهامة لعملية التصميم هو عمل مقطع طولي (Longitudinal Profile) يوضح مناسيب الأرض الطبيعية بالإضافة إلى مناسيب الأنابيب في بداية ونهاية الأنبوب وأشياء أخرى كما تم توضيحه تماما في شبكة الصرف الصحي.

3. من المفترض توضيح كيفية توزيع المصائد على جوانب الطريق وتوضيح أبعاد هذه المصائد والمسافات التي بينها كما يوضح الشكل التالي:



4. يجب وضع تفاصيل المناهل من الداخل وتفاصيل ال Drop Manholes كما يتضح في الأشكال التالية:





Done Alhamdulillah