



جامعة سبها

كلية العلوم الهندسية والتقنية / براك الشاطئ

قسم الهندسة المدنية

مشروع مقدم لاستكمال متطلبات نيل درجة البكالوريوس في الهندسة المدنية

بعنوان:

**مقارنة نظرية بين طرق تحليل شبكات المياه**

إعداد الطالب: سليمان علي محمد المرهاق

الأستاذ المشرف: د. إبراهيم علي خليفة

العام الجامعي خريف ( 2017 - 2018 ) ف

رقم الصفحة	العنوان	البند
<b>الفصل الأول</b>		
2	المقدمة	.1.1
3	الهدف من البحث	.2.1
3	منهجية البحث	.3.1
<b>الفصل الثاني</b>		
5	مراجعة الطرق المستعملة في تحليل شبكات المياه	.2
5	المقدمة	.1.2
5	طريقة الحلقة "هاردي كروس"	.2.2
9	الطريقة الخطية "طريقة وود - جاولس"	.3.2
13	طريقة العقدة	.4.2
15	طريقة الدائرة	.5.2
16	طريقة الأنبوب المكافئ	.6.2
17	طريقة القطاعات	.7.2
<b>الفصل الثالث</b>		
20	البرمجيات الحاسوبية المستخدمة في تحليل شبكات المياه	.3
20	المقدمة	.1.3
21	برنامج EPANET	.2.3
21	تعريف برنامج EPANET	.1.2.3
21	خطوات استعمال برنامج EPANET	.2.2.3
24	مميزات برنامج EPANET	.3.2.3
<b>الفصل الرابع</b>		
27	تطبيق طرق الحل على الأمثلة المختلفة	.4
27	شبكات من حلقة واحدة	.1.4
28	طريقة هاردي كروس	.1.1.4
31	الطريقة الخطية	.2.1.4
34	استخدام برنامج EPANET	.3.1.4

35	شبكات من حلقتين	.2.4
36	طريقة هاردي كروس	.1.2.4
43	الطريقة الخطية	.2.2.4
49	استخدام برنامج EPANET	.3.2.4
50	شبكات من ثلاث حلقات	.3.4
51	طريقة هاردي كروس	.1.3.4
60	الطريقة الخطية	.2.3.4
68	استخدام برنامج EPANET	.3.3.4
<b>الفصل الخامس</b>		
71	النتائج	.5
71	نتائج شبكات من حلقة واحدة	.1.5
71	نتائج شبكات من حلقتين	.2.5
72	نتائج شبكات من ثلاث حلقات	.3.5
<b>الفصل السادس</b>		
74	مناقشة النتائج	.1.6
74	التوصيات	.2.6
<b>قائمة المراجع</b>		
77	المراجع	

رقم الصفحة	الجدول	البند
7	بيانات الشبكة التوضيحية لطريقة هاردي كروس	.1.2
8	ايجاد التدفقات للشبكة التوضيحية بطريقة هاردي كروس	.2.2
11	بيانات الشبكة التوضيحية للطريقة الخطية	.3.2
24	ايجاد التدفقات للشبكة التوضيحية باستخدام برنامج EPANET	.1.3
27	بيانات الشبكة من حلقة واحدة	.1.4
28	طريقة هاردي كروس للمحاولة الأولى	.2.4
29	طريقة هاردي كروس للمحاولة الثانية	.3.4
29	طريقة هاردي كروس للمحاولة الثالثة	.4.4
30	طريقة هاردي كروس للمحاولة الرابعة	.5.4
35	بيانات الشبكة من حلقتين	.6.4
36	طريقة هاردي كروس للمحاولة الأولى للحلقة I	.7.4
37	طريقة هاردي كروس للمحاولة الأولى للحلقة II	.8.4
38	طريقة هاردي كروس للمحاولة الثانية للحلقة I	.9.4
38	طريقة هاردي كروس للمحاولة الثانية للحلقة II	.10.4
39	طريقة هاردي كروس للمحاولة الثالثة للحلقة I	.11.4
40	طريقة هاردي كروس للمحاولة الثالثة للحلقة II	.12.4
41	طريقة هاردي كروس للمحاولة الرابعة للحلقة I	.13.4
42	طريقة هاردي كروس للمحاولة الرابعة للحلقة II	.14.4
50	بيانات الشبكة من ثلاث حلقات	.15.4
52	طريقة هاردي كروس للمحاولة الأولى للحلقة I	.16.4
52	طريقة هاردي كروس للمحاولة الأولى للحلقة II	.17.4
53	طريقة هاردي كروس للمحاولة الأولى للحلقة III	.18.4
54	طريقة هاردي كروس للمحاولة الثانية للحلقة I	.19.4
54	طريقة هاردي كروس للمحاولة الثانية للحلقة II	.20.4
55	طريقة هاردي كروس للمحاولة الثانية للحلقة III	.21.4
56	طريقة هاردي كروس للمحاولة الثالثة للحلقة I	.22.4

## مقارنة نظرية بين طرق تحليل شبكات المياه

56	طريقة هاردي كروس للمحاولة الثالثة للحلقة II	.23.4
57	طريقة هاردي كروس للمحاولة الثالثة للحلقة III	.24.4
58	طريقة هاردي كروس للمحاولة الرابعة للحلقة I	.25.4
58	طريقة هاردي كروس للمحاولة الرابعة للحلقة II	.26.4
59	طريقة هاردي كروس للمحاولة الرابعة للحلقة III	.27.4
71	نتائج التدفقات للشبكة من حلقة واحدة	.1.5
71	نتائج التدفقات للشبكة من حلقتين	.2.5
72	نتائج التدفقات للشبكة من ثلاث حلقات	.3.5

## مقارنة نظرية بين طرق تحليل شبكات المياه

الصفحة	الشكل	البند
6	شبكة توضيحية لطريقة هاردي كروس	.1.2
7	شبكة مياه توضح معامل الفاقد في الطاقة في كل أنبوب	.2.2
8	شبكة مياه توضح فرض التدفقات واتجاهها	.3.2
9	شبكة مياه توضح التدفقات المصححة بطريقة هاردي كروس	.4.2
11	شبكة مياه توضح معامل الفاقد في الطاقة في كل أنبوب	.5.2
12	شبكة مياه توضح فرض التدفقات واتجاهها	.6.2
13	شبكة مياه توضح التدفقات المصححة بالطريقة الخطية	.7.2
21	مكونات برنامج EPANET	.1.3
22	نافذة الرسام لبرنامج EPANET	.2.3
22	نافذة خواص العقدة "الوصلة"	.3.3
23	نافذة خواص الأنبوب	.4.3
24	شبكة مياه بسيطة توضح التدفق الداخل والخارج من العقد	.5.3
25	جدول يبين مدخلات ومخرجات برنامج EPANET	.6.3
25	شبكة مياه توضح مخرجات التدفقات حسب برنامج EPANET	.7.3
27	شبكة مياه من حلقة واحدة توضح التدفق الداخل والخارج من العقد	.1.4
28	شبكة مياه من حلقة واحدة توضح توزيع التدفقات المفروض مبدئياً	.2.4
30	شبكة مياه من حلقة واحدة توضح التدفقات المصححة بطريقة هاردي كروس للمحاولة الرابعة	.3.4
33	شبكة مياه من حلقة واحدة توضح التدفقات المصححة بالطريقة الخطية للمحاولة الرابعة	.4.4
34	جدول مدخلات ومخرجات برنامج EPANET لشبكة من حلقة واحدة	.5.4
34	شبكة مياه من حلقة واحدة توضح مخرجات التدفقات حسب برنامج EPANET	.6.4
35	شبكة مياه من حلقتين توضح التدفق الداخل والخارج من العقد	.7.4
36	شبكة مياه من حلقة واحدة توضح توزيع التدفقات المفروض مبدئياً	.8.4
37	شبكة مياه من حلقتين توضح التدفقات المصححة بطريقة هاردي كروس للمحاولة الأولى	.9.4
39	شبكة مياه من حلقتين توضح التدفقات المصححة بطريقة هاردي كروس للمحاولة الثانية	.10.4
40	شبكة مياه من حلقتين توضح التدفقات المصححة بطريقة هاردي كروس للمحاولة الثالثة	.11.4
42	شبكة مياه من حلقتين توضح التدفقات المصححة بطريقة هاردي كروس للمحاولة الرابعة	.12.4

مقارنة نظرية بين طرق تحليل شبكات المياه

43	شبكة مياه من حلقة واحدة توضح توزيع التدفقات المفروض مبدئياً	.13.4
45	شبكة مياه من حلقتين توضح التدفقات المصححة بالطريقة الخطية للمحاولة الأولى	.14.4
46	شبكة مياه من حلقتين توضح التدفقات المصححة بالطريقة الخطية للمحاولة الثانية	.15.4
47	شبكة مياه من حلقتين توضح التدفقات المصححة بالطريقة الخطية للمحاولة الثالثة	.16.4
48	شبكة مياه من حلقتين توضح التدفقات المصححة بالطريقة الخطية للمحاولة الرابعة	.17.4
49	جدول مدخلات ومخرجات برنامج EPANET لشبكة من حلقتين	.18.4
49	شبكة مياه من حلقتين توضح مخرجات التدفقات حسب برنامج EPANET	.19.4
50	شبكة مياه من ثلاث حلقات توضح التدفق الداخل والخارج من العقد	.20.4
51	شبكة مياه من حلقة واحدة توضح توزيع التدفقات المفروض مبدئياً	.21.4
53	شبكة مياه من ثلاث حلقات توضح التدفقات المصححة بطريقة هاردي كروس للمحاولة الأولى	.22.4
55	شبكة مياه من ثلاث حلقات توضح التدفقات المصححة بطريقة هاردي كروس للمحاولة الثانية	.23.4
57	شبكة مياه من ثلاث حلقات توضح التدفقات المصححة بطريقة هاردي كروس للمحاولة الثالثة	.24.4
60	شبكة مياه من ثلاث حلقات توضح التدفقات المصححة بطريقة هاردي كروس للمحاولة الرابعة	.25.4
60	شبكة مياه من حلقة واحدة توضح توزيع التدفقات المفروض مبدئياً	.26.4
64	شبكة مياه من ثلاث حلقات توضح التدفقات المصححة بالطريقة الخطية للمحاولة الأولى	.27.4
66	شبكة مياه من ثلاث حلقات توضح التدفقات المصححة بالطريقة الخطية للمحاولة الثانية	.28.4
68	شبكة مياه من ثلاث حلقات توضح التدفقات المصححة بالطريقة الخطية للمحاولة الثالثة	.29.4
68	جدول مدخلات ومخرجات برنامج EPANET لشبكة من ثلاث حلقات	.30.4
69	شبكة مياه من ثلاث حلقات توضح مخرجات التدفقات حسب برنامج EPANET	.31.4

- $Q_{IN}$  = التدفق الداخل إلى العقدة "  $m^3/s$  أو  $L/s$  ".
- $Q_{OUT}$  = التدفق الخارج من العقدة "  $m^3/s$  أو  $L/s$  ".
- $h_{LOSSES} = h_L$  = فاقد السمت في الأنابيب.
- $\Delta Q$  = معامل الخطأ.
- $Q$  = الانسياب الصحيح "  $m^3/s$  أو  $L/s$  ".
- $Q_a = Q_b$  = الانسياب المفروض في الانبواب "  $m^3/s$  أو  $L/s$  ".
- $n$  = معامل يعتمد على معادلة الفاقد في السمت.
- $K, f$  = معامل الفاقد في الطاقة.
- $L$  = الطول في الأنبوب، "متر -  $m$ ".
- $v$  = سرعة التدفق، "م/ث -  $m/s$ ".
- $D$  = قطر الأنبوب، "متر -  $m$ ".
- $A$  = مساحة الأنبوب العرضية.
- $g = 9.81$  "م<sup>2</sup>/ث -  $m^2/s$ ".
- $\pi = 3.14159$ .
- $H_N$  = سمات العقدة.
- $[A_m]$  = مصفوفات المعاملات.
- $[Q_m]$  = مصفوفات التدفق.
- $[B_m]$  = مصفوفة النواتج.
- $[A_m]^{-1}$  = مقلوب مصفوفة المعاملات.



## الفصل الأول:

1.1. المقدمة.

2.1. الهدف من البحث.

3.1. منهجية البحث.

## 1.1. المقدمة Introduction:

يعتبر تحليل شبكة توزيع المياه القاعدة الأساسية لتصميم الشبكات الجيدة. وتعتمد معايير تصميم التدفق على تحديد أقل تدفق وسمت ضغط مطلوب عند نقاط خروج التدفق من الشبكة. ويتوزع الضغط والتدفق عبر الشبكة متأثر بترتيب وحجم الأنابيب وتوزع نقاط الطلب على الشبكة.

سيتم التطرق لدراسة الطرق الأكثر استخداماً لتحليل الشبكات حيث سيتم في هذا البحث دراسة ( "طريقة هاردي كروس" و "الطريقة الخطية" ) وخطوات حل هذه الطرق، ونظراً للتعقيد الموجود في تصميم شبكات المياه خاصة الكبيرة منها وتطور الحاسوب وتقدم استعمالاته حيث تم تصميم العديد من البرمجيات الحاسوبية التي تستخدم في الوقت الحاضر ولهذا سيتم استخدام أحد هذه البرمجيات وهو برنامج EPANET للمقارنة والتأكيد على النتائج.

سنقوم بفرض شبكات مياه افتراضية تحاكي الواقع سنحاول فيها تنويع خواص الأنابيب ومقادير الطلب في كل عقدة بالشبكات بحيث نغطي ما أمكن من حيث شبكات المياه، ونطبق عليها طرق تحليل الشبكات التي سندرسها في البحث.

ولتسهيل الدراسة سنفرض معامل احتكاك حسب الجداول والأكواد المتخصصة في المجال "0.026 = f"، وباستعمال معادلة دارسي وايزنخ.

## 2.1. الهدف من البحث:

1. مراجعة للطرق المستخدمة في تحليل شبكات المياه.
2. التأكيد على أهمية استخدام برامج الكمبيوتر الهندسية وخاصة في التصميم الهيدروليكي واختصار الوقت والجهد الذي يتطلبه التصميم اليدوي والتعرف على قدرة برنامج EPANET حيث أن هذا البرنامج من أفضل البرامج المستخدمة في التصميم الهيدروليكي في العالم.
3. مقارنة النتائج المتحصل عليها من طرق التحليل يدويا لشبكات المياه وبرنامج "EPANET".

## 3.1. منهجية البحث:

1. الفصل الأول المقدمة والهدف من البحث ومنهجية البحث.
2. الفصل الثاني مراجعة الطرق المستعملة في تحليل شبكات المياه.
3. الفصل الثالث البرمجيات الحاسوبية المستخدمة في تحليل شبكات المياه.
4. الفصل الرابع تطبيق طرق تحليل شبكات المياه على الأمثلة المختلفة.
5. الفصل الخامس النتائج.
6. الفصل السادس مناقشة النتائج والتوصيات.
7. قائمة المراجع.

## الفصل الثاني:

مراجعة الطرق المستعملة في تحليل شبكات المياه.

1.2. المقدمة.

2.2. طريقة الحلقة "هاردي كروس".

3.2. الطريقة الخطية "طريقة وود - جاولس".

4.2. طريقة العقدة.

5.2. طريقة الدائرة.

6.2. طريقة الانبوب المكافئ.

7.2. طريقة القطاعات.

## 2. مراجعة الطرق المستعملة في التحليل:

### 1.2. المقدمة:

تحليل الشبكات هيدروليكية ضروري للتأكد من كفاءتها وقدرتها الهيدروليكية الفعلية حسب التصميم يتم تحليل سريان المياه في الشبكة بإحدى الطرق وهي طريقة المحاولة والخطأ العشوائية "فرض التدفق عشوائياً"، طريقة تحليل المعادلات جبرياً "الطريقة الخطية"، وطريقة المحاولة والخطأ المضبوطة "هاردي كروس" وسنتطرق لدراسة الطرق الأكثر استعمالاً في تحليل الشبكات.

### 2.2. طريقة الحلقة "هاردي كروس" Hardy Cross Method:

استنبطت هذه الطريقة العالم هاردي كروس عام 1936 وهي تعتمد على المحاولة والخطأ، وتستعمل في تحديد التصريفات المارة بالمواسير ثم تعيين الضغوط أو استعمالها مباشرة لتحديد الضغوط في الشبكة عند أي نقطة فيها.

#### ❖ خطوات التحليل بطريقة هاردي كروس:

تستعمل الجداول للتحليل وفق الخطوات التالية:

1. فرض مبدئياً تدفق تقديري في كل أنبوب بما يحقق معادلة الاستمرارية عند كل عقدة أو وصلة في الشبكة.

2. حساب مجموع فواقد الطاقة حول الحلقة مع اعتبار الإشارة (+ أو -) وفقاً لاتجاه عقارب الساعة أو عكس عقارب الساعة، وبالتالي يتم تحديد قيمة البسط في المعادلة.

3. حساب قيمة  $n \left| \frac{h_{fi}}{Q_i} \right|$  لكل أنبوب ثم تجمع هذه القيم لكل أنابيب الحلقة بذلك يتم حساب المقام للمعادلة.

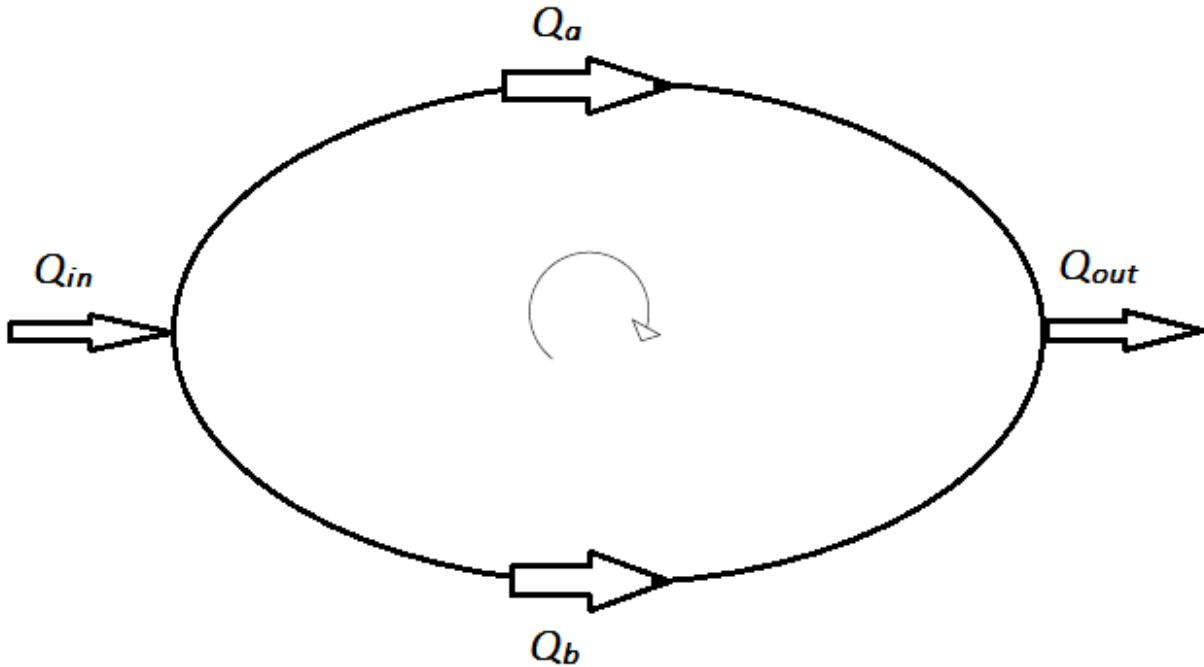
4. حساب الخطأ في تقدير الانسياب وهو  $\Delta Q$ .

$$\Delta Q = - \frac{\sum h_{fi}}{2 \sum \left| \frac{h_{fi}}{Q_i} \right|}$$

5. تصحيح الانسياب في الحلقة بجمع  $\pm(Q_a, Q_b)$  المفروضة مع  $\pm \Delta Q$ .

6. تعاد نفس الخطوات للحلقات المجاورة مع تعديل انسياب الانابيب المشتركة بهذا تكون قد أكملت محاولة واحدة.

7. تكرر المحاولة بإعادة الخطوات السابقة لكل حلقات الشبكة باستخدام الانسياب المصحح للمحاولة إلى حين الحصول على قيمة صغيرة مسموح بها لمعامل الخطأ  $\pm \Delta Q$  لكل الحلقات.



الشكل (2 - 1): شبكة توضيحية لطريقة هاردي كروس.

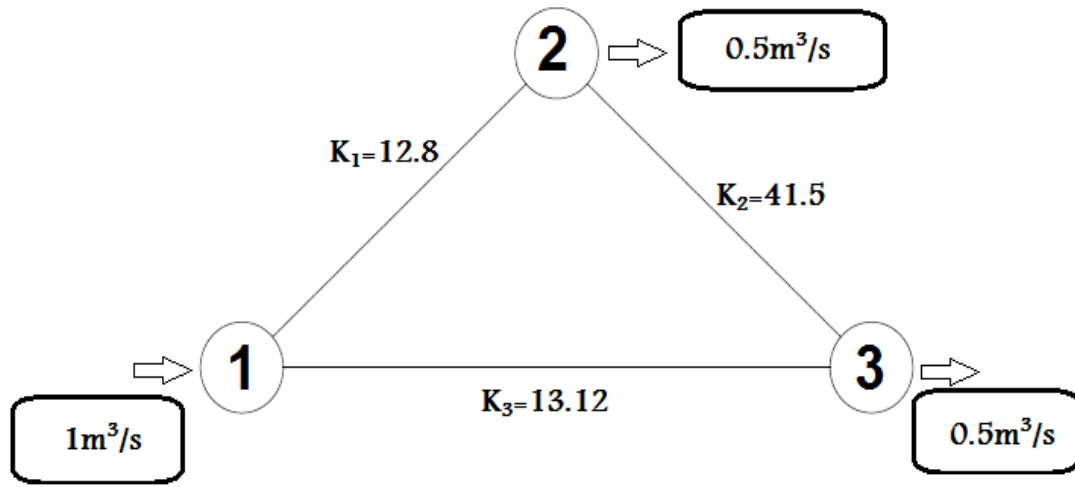
✓ مثال:

للشبكة الموضحة بشكل (2 - 2)، المطلوب إيجاد التدفقات في الأنابيب.

$$K = \frac{8 f L}{\pi^2 g D^5} \quad \text{"f = 0.026 متوسط القيمة"}$$

الجدول (2 - 1)، بيانات الشبكة التوضيحية لطريقة هاردي كروس.

PIPE	D (mm)	L (m)	K
1	700	1000	12.8
2	600	1500	41.5
3	800	2000	13.12

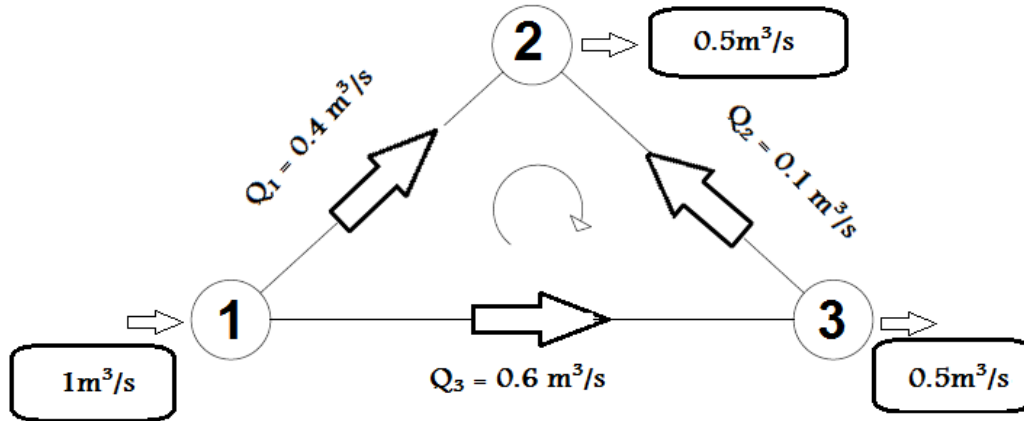


الشكل (2-2) شبكة مياه توضح معامل الفاقد في الطاقة لكل أنبوب.

✓ الحل:

نفرض التدفقات



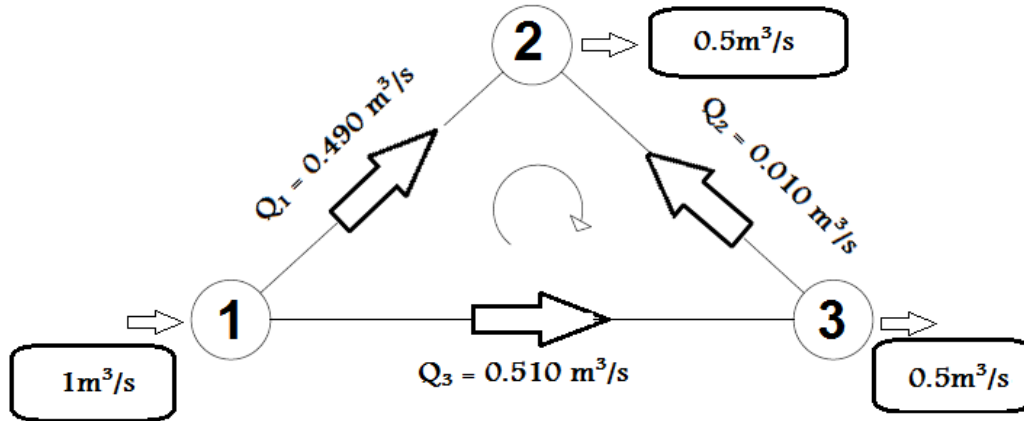


الشكل (2 - 3): شبكة مياه توضح فرض التدفقات واتجاهها.

$$Q_1 = 0.4 \text{ m}^3/\text{s} \quad Q_2 = 0.1 \text{ m}^3/\text{s} \quad Q_3 = 0.6 \text{ m}^3/\text{s}$$

الجدول (2 - 2): إيجاد التدفقات لشبكة توضيحية بطريقة هاردي كروس.

PIPE	K	Q	$KQ^2$	$2KQ$	$\Delta Q$	Q
1	12.8	+0.4	+2.05	10.25	+0.090	+0.490
2	41.5	-0.1	-0.415	8.3		-0.010
3	13.12	-0.6	-4.72	15.73		-0.510
		$\Sigma$	-3.085	34.28		



الشكل (2 - 4): شبكة مياه توضح التدفقات المصححة بطريقة هاردي كروس.

### 3.2. الطريقة الخطية (طريقة وود - جاولس) :LINEAR METHOD

هذه الطريقة احدى الطرق الخطية التي تحل منظومة معادلات شبكات الأنابيب وقد وضعت من قبل وود - جاولس في سنة 1972 وتقوم هذه الطريقة أساسا على تحويل المعادلات الغير خطية إلى معادلات خطية، والمعادلات غير الخطية هي القائمة أساسا على فواقد الاحتكاك "مجموع فواقد الاحتكاك حول أي نقطة = صفر" وتقرب فواقد الاحتكاك باستخدام القانون التالي:

$$H_f = K' Q$$

حيث:

$$K' = KQ_0^{n-1}$$

و  $Q_0$  تمثل قيمة  $Q$  المتوفرة في المحاولة السابقة، وعندما تقترب  $Q_0$  من القيمة الصحيحة تصبح:

$$H_f = K' Q \Rightarrow KQ^n$$

❖ خطوات التحليل:

1. فرض مبدئياً تدفقات تقديرية في كل أنبوب بما يحقق معادلة الاستمرارية عند كل عقدة.
2. إيجاد عدد  $N$  من المعادلة حول العقد أي حساب قانون بقاء الطاقة حول العقدة.

$$\sum Q_{IN} = \sum Q_{OUT}$$

3. استخراج معادلات لكل حلقة حسب مجموع فواقد الاحتكاك حول أي نقطة يساوي صفر.

$$\sum h_L = 0 = \sum KQ |Q|$$

4. يجمع مصفوفات للمعاملات وكذلك للمتغيرات والنواتج.

$$[A_m] \times [Q_m] = [B_m]$$

5. إيجاد مقلوب مصفوفة المعاملات  $[A]^{-1}$ .

6. ضرب مقلوب مصفوفة المعاملات في مصفوفة النواتج.

$$[Q_m] = [A_m]^{-1} \times [B_m]$$

- $[A_m]$  = مصفوفات المعاملات.
- $[Q_m]$  = مصفوفات التدفق.
- $[B_m]$  = مصفوفة النواتج.
- $[A_m]^{-1}$  = مقلوب مصفوفة المعاملات.

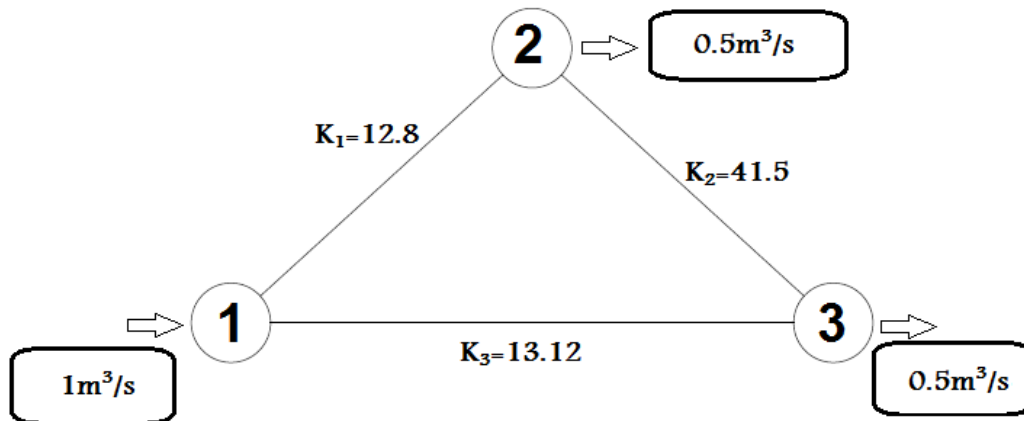
✓ مثال:

للشبكة الموضحة بالشكل (2 - 5)، المطلوب إيجاد التدفقات في الأنابيب.

$$K = \frac{8 f L}{\pi^2 g D^5} \quad \text{"f = 0.026 القيمة"}$$

الجدول (2 - 3): بيانات الشبكة التوضيحية للطريقة الخطية.

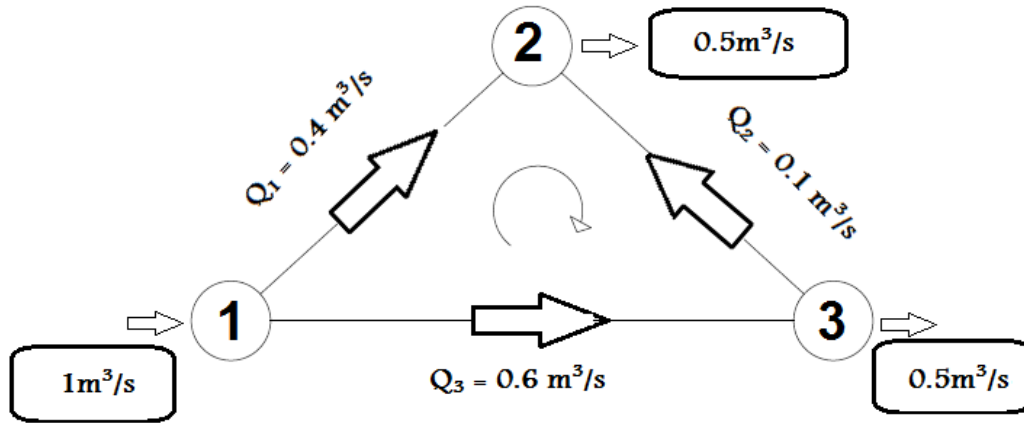
PIPE	D (mm)	L (m)	K
1	700	1000	12.8
2	600	1500	41.5
3	800	2000	13.12



الشكل (2 - 5): شبكة مياه توضح معامل الفاقد في الطاقة لكل أنبوب.

✓ الحل:

نفرض التدفقات



الشكل (2 - 6): شبكة مياه توضح فرض التدفقات واتجاهها.

$$Q_1 = 0.4 \text{ m}^3/\text{s} \quad Q_2 = 0.1 \text{ m}^3/\text{s} \quad Q_3 = 0.6 \text{ m}^3/\text{s}$$

- معادلات بقاء الطاقة:

$$Q_1 + Q_2 = 0.5 \quad \dots(1)$$

$$Q_3 - Q_2 = 0.5 \quad \dots(2)$$

- معادلات الفاقد في الحلقة:

$$\Sigma h_L = 0$$

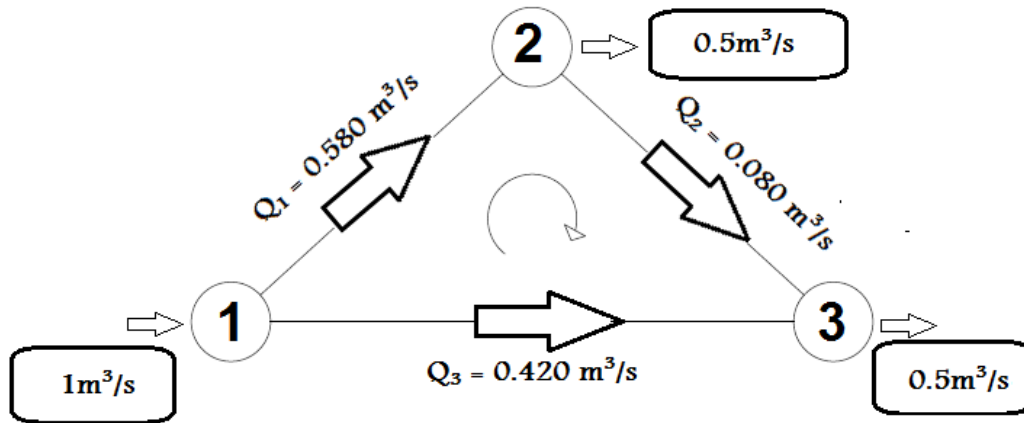
$$K_1 Q_1 |Q_1| + K_2 Q_2 |Q_2| - K_3 Q_3 |Q_3| = 0$$

$$12.8 \times 0.4 Q_1 - 41.5 \times 0.1 Q_2 - 13.12 \times 0.6 Q_3 = 0$$

$$5.12 Q_1 - 4.15 Q_2 - 7.872 Q_3 = 0 \quad \dots(3)$$

$$\begin{vmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 \\ 5.12 & -4.15 & -7.872 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0.5 \\ 0.5 \\ 0 \end{vmatrix}$$

$$Q_1 = 0.580 \text{ m}^3/\text{s} \quad Q_2 = 0.08 \text{ m}^3/\text{s} \quad Q_3 = 0.420 \text{ m}^3/\text{s}$$



الشكل (2 - 7): شبكة مياه توضح التدفقات المصححة بالطريقة الخطية.

#### 4.2. طريقة العقدة Nodal Method:

تستخدم هذه الطريقة كثيراً في تحليل الشبكات المتصلة مع عدة خزانات وذلك بتحديد سمت الضغط لكل عقدة ومعرفة اتجاه التدفقات.

### ❖ خطوات التحليل:

1. فرض مبدئياً تدفقات تقديرية في كل أنبوب بما يحقق معادلة الاستمرارية عند كل عقدة.
2. حساب سمت الفاقد لكل أنبوب في الشبكة.

$$h_{Lf} = K Q^2$$

3. حساب سمت الضغط لكل عقدة في الشبكة مع فرض سمت ضغط لأحد العقد.
4. إيجاد عدد  $N$  من المعادلة حول العقد أي حسب قانون بقاء الطاقة حول العقدة.

$$\sum Q_{IN} = \sum Q_{OUT}$$

5. تعويض التدفقات بمعادلة سمت الضغط عند كل عقدة.

$$Q_1 = \frac{1}{\sqrt{k}} \frac{(H_{N1} - H_{N2})}{(H_{N1} - H_{N2})^{\frac{1}{2}}}$$

6. بجمع مصفوفات المعاملات وكذلك المتغيرات والنواتج.

$$[A_m] \times [H_n] = [B_m]$$

7. إيجاد مقلوب مصفوفة المعاملات  $[A]^{-1}$ .

8. ضرب مقلوب مصفوفة المعاملات في مصفوفة النواتج.

$$[H_n] = [A_m]^{-1} \times [B_m]$$

•  $H_N =$  سمت ضغط العقدة.

9. حساب سمت الفاقد لكل أنبوب في الشبكة.

$$h_{L1} = H_{N1} - H_{N2}$$

10. إيجاد التدفقات في الأنبوب وذلك بمقدار الفاقد سمت للأنبوب.

$$Q_1 = \sqrt{\frac{h_{L1}}{k_1}}$$

## 5.2. طريقة الدائرة Circle Method:

تستخدم طريقة الدائرة في تصميم أو الكشف عن أي نقص في الضغط في شبكات المواسير الفرعية، وذلك باستخدام التصرف اللازم للحريق وتتخلص هذه الطريقة فيما يلي:

1. رسم الشبكات الفرعية على ورق مربعات أو بمقياس رسم مناسب.
2. رسم دائرة تقطع الخطوط الفرعية في عدة نقاط.
3. افتراض أن المواسير المقطوعة تعطي تصريف يكفي احتياجات الحريق، ومنه يحسب نصيب كل ماسورة من هذا التصرف. مع الأخذ في الاعتبار أنه إذا كانت أقطار المواسير متساوية يتساوى نصيب كل منها من التصريف، أما إذا كانت المواسير غير متساوية القطر، يعوض عنها بمواسير مكافئة.



4. يتم حساب الفاقد في الضغط في الماسورة من المعادلة ( $h = KQ^2$ ) على أساس قطرها والتصريف الخارج منها وبعدها عن الماسورة الرئيسية المغذية لها.
5. يجب أن يكون الضغط في كل ماسورة عند نقاط التقاطع أكبر من أو يساوي 15 متراً أو الضغط الخاص بالحريق.
6. في حالة اكتشاف نقص في الضغط عن هذا المقدار في احدى المواسير الفرعية في الشبكة تستبدل بماسورة ذات قطر أكبر ويعاد الحساب من جديد.
7. إذا مست الدائرة أحد الخطوط اعتبرت نقطة التماس كما لو كانت ماسورتين.

## 6.2. طريقة الأنبوب المكافئ:

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

وتستعمل هذه الطريقة في حالة تحويل الشبكات الرئيسية إلى شبكات بسيطة يمكن حلها بسهولة، أو في حالة طلب مد خطوط رئيسية لمناطق جديدة، أو زيادة الاستهلاك وإضافة خطوط جديدة، وذلك باستبدال ماسورة أو مجموعة من المواسير المتصلة على التوازي أو التوالي بماسورة واحدة. علماً بأن هذه الماسورة المكافئة متصلة على التوازي أو التوالي بماسورة واحدة. علماً بأن هذه الماسورة المكافئة

تخليية، بمعنى أن طولها أو قطرها غير واقعي. ونعرض فيما يلي أسس حساب قطر وطول الماسورة المكافئة في كل من حالي المواير المتصلة على التوالي والمواير المتصلة على التوازي.

❖ أولاً: المواير المتصلة على التوالي:

يكون التصريف المفترض المار بمجموعة المواير المتصلة على التوالي، مساوياً للتصريف المار في كل منها، مع الأخذ في الاعتبار أن الفواقد في الضغط تجمع مع بعضها لتساوي الفاقد الكلي فيها، والذي بمعلوماته التصريف المار يمكن فرض القطر المكافئ. ومن المنحنيات يمكن إيجاد السرعة ومعدل الفقد، وبالتالي إيجاد طول الماسورة المكافئة وذلك على أساس أن:

$$Q_{IN} = Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_{OUT}$$

$$h_L = \frac{8 f L}{\pi^2 g D^5} Q^2$$

$$h_L = h_{L1} + h_{L2} + h_{L3}$$

$$\frac{L_e}{D_e^5} = \frac{L_1}{D_1^5} + \frac{L_2}{D_2^5} + \frac{L_3}{D_3^5}$$

❖ ثانياً: المواير المتصلة على التوازي:

في هذه الحالة يكون الفاقد في الضغط متساوياً بينما التصريف الكلي يساوي مجموع التصريفات المار في كل خط على حدة، ويتم الحساب على أساس المعادلات الآتية:

$$Q = \left( \frac{\pi^2 g D^5}{8 f L} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$h = h_1 = h_2 = h_3$$

$$Q = Q_1 = Q_2 = Q_3$$

$$\frac{D_e^{5/2}}{L_e^{1/2}} = \frac{D_1^{5/2}}{L_1^{1/2}} + \frac{D_2^{5/2}}{L_2^{1/2}} + \frac{D_3^{5/2}}{L_3^{1/2}}$$

## 7.2. طريقة القطاعات :Method of Sections

تستخدم طريقة القطاعات للتصميم المبدئي لشبكة مياه مدينة، في الأحوال التالية:

1. المدينة موجودة وحدث تغير في عدد السكان ويراد معرفة كفاءة الشبكة لتغذية عدد السكان

المطلوب خدمتهم بمياه الشرب.

2. المدينة موجودة وحدث توسع (امتداد) عمراني خارج المدينة وامتدت الشبكة لهذا الجزء من

التوسع.

3. المدينة لم تنشأ بعد، ويراد تصميم شبكتها.

وقد اخترع هذه الطريقة العالم هازن ووضع شروطاً لتطبيقها وهي "ان معدل الفاقد في الضغط يتراوح من

(1 - 3)%، وهو ما يوازي سرعة من (0.6 - 1.5) م/ثانية، وان يكون القطاع عمودياً على اتجاه

سريان المياه للخطوط الناقلة للمياه من محطة الضخ إلى شبكة التوزيع". ونعرض فيما يلي خطوات هذه

الطريقة لكل من الحالتين الأولى والثانية المشار إليها أعلاه.

❖ أولاً: حالة حدوث تغير في عدد السكان:

في هذه الحالة تكون الشبكة قائمة واقطارها معروفة فتتبع خطوات التصميم والحساب الهيدروليكي كالتالي:

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

2. تجمع التصريفات التي تحملها المواسير المقطوعة، ثم تقارن مع التصريفات المطلوبة فاذا تساوت كانت الشبكة الموجودة كافية. اما اذا كانت التصريفات المطلوبة أكبر فلا بد من تعويض النقص، وذلك اما بوضع ماسورة أخرى جديدة تحمل التصريف المكمل (توضع في أحد الشوارع التي يظن انها في حاجة إلى المياه)، أو باستبدال ماسورة قديمة بأخرى جديدة أكبر منها لتعوض النقص في التصريفات.

### ❖ ثانياً: حالة امتداد العمران خارج المدينة:

نتبع نفس الخطوات بالإضافة الى أخذ قطاع إضافي على مناطق التوسع لتحديد اقطارها، مع الأخذ في الاعتبار أن أصغر قطر يلتف حول أي توسع جديد لا يقل عن 200mm، حتى لو كان التصريف اللازم لهذا التوسع يحتاج إلى ماسورة أقل من ذلك.

## الفصل الثالث:

1.3 .المقدمة.

2.3 .برنامج EPANET.

1.2.3 .تعريف برنامج EPANET.

2.2.3 .خطوات استعمال برنامج EPANET.

3.2.3 .مميزات برنامج EPANET.

### 3. البرمجيات الحاسوبية المستخدمة في تحليل شبكات المياه:

#### 1.3. المقدمة:

نظراً للتعقيد الموجود في تصميم شبكات المياه خاصة الكبيرة منها وتطور الحاسوب وتقدم استعمالاته تم تصميم العديد من البرمجيات التي تستخدم في الوقت الحاضر لهذا الغرض وذلك لتسهيل العمل وتوفير الكثير من المال والجهد والوقت، أغلب هذه البرمجيات تجارية وتخصصية، كما يوجد منها البسيط الذي يعتمد على جداول البيانات (Spread sheet) وغيرها.

❖ ومن هذه البرمجيات:

EPANET ✓

WATER CAD ✓

CYBER NET ✓

WANAD ✓

KYPIPE2000 ✓

FLOW MASTER ✓

PIPE FLOW EXPERT ✓

تم اختيار برنامج EPANET لسهولة التعامل معه حيث أنه مخصص للتعليم الأكاديمي، وهو أحد برامج وكالة البيئة الأمريكية، وهو برنامج مجاني يمكن تنزيله بسهولة وبدون مقابل من شبكة المعلومات الدولية.

## 2.3. برنامج EPANET:

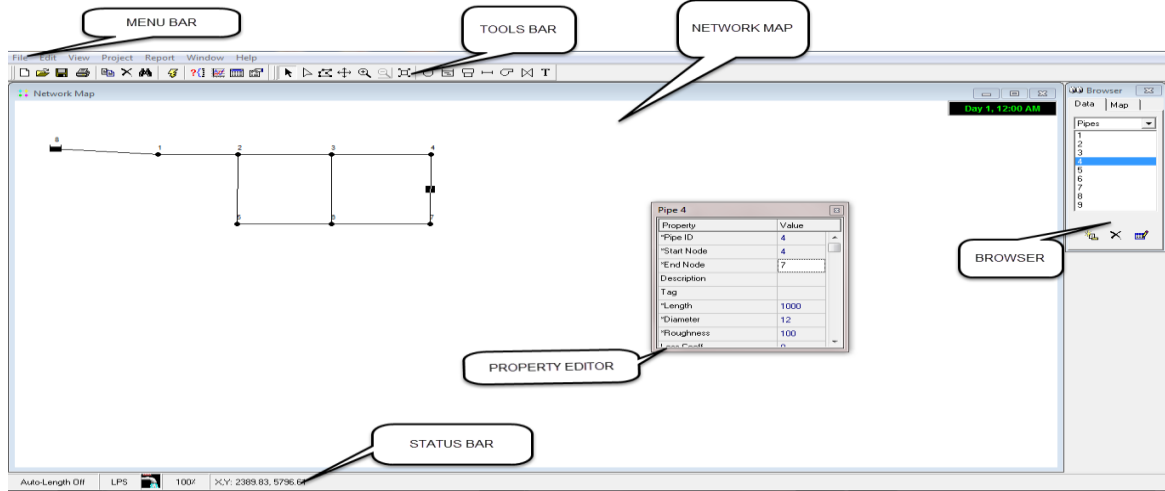
### 1.2.3. تعريف البرنامج:

البرنامج هو أحد إصدارات شركة وكالة حماية البيئة الأمريكية، ومصطلح EPA اختصار لـ (Environmental Protection Agency) وهو برنامج حاسوب يدرس حركة وسلوك الماء ضمن شبكات المياه، والتي تحتوي على الأنابيب والعقد والمضخات والصمامات وأحواض التخزين الأرضية والعالية.

صمم برنامج EPANET ليكون أداة بحث لتحسين فهم حركة المياه ضمن أنظمة التوزيع، حيث يمكن للبرنامج أن يحسب التدفقات في كل أنابيب الشبكة، ويمكن أن يحسب الضغط عند كل عقدة، وارتفاع الماء بكل خزان بالإضافة إلى تركيز المواد الكيميائية وعدة تطبيقات أخرى، مثل انتقال التلوث داخل الشبكة ووجود كسر في أنبوب في المنظومة.

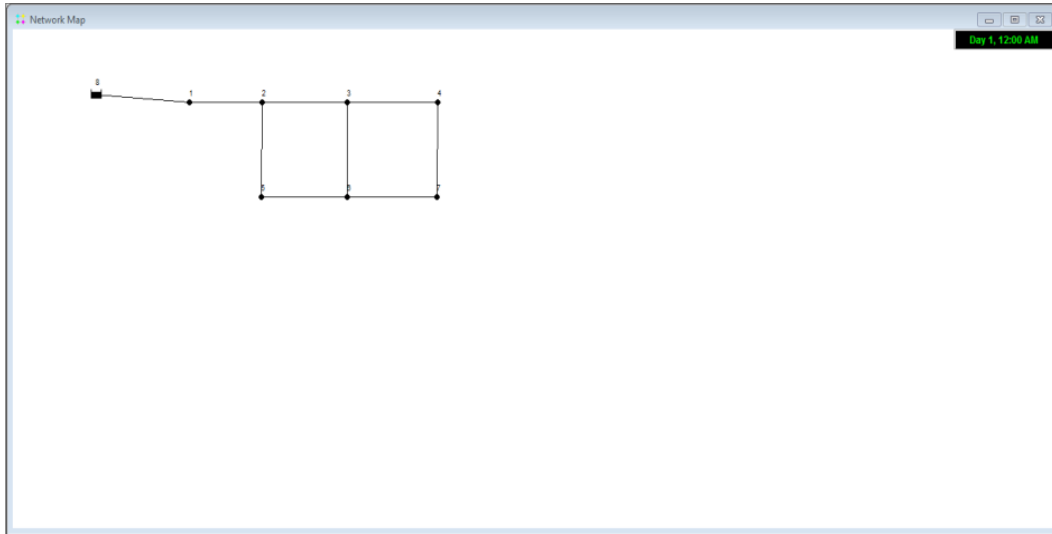
### 2.2.3. خطوات استعمال البرنامج:

لتحليل شبكة مياه باستخدام البرنامج نتبع الخطوات التالية:




الشكل (3 - 1): مكونات برنامج EPANET.

1. رسم الشبكة والتي تمثل نظام التوزيع، ابتداءً بالعقد والخزانات ثم توصيل الأنابيب والمضخات، بالوضعية المراد تنفيذها.



الشكل (3 - 2): نافذة الرسم لبرنامج EPANET.


2. ادخال خواص العناصر المكونة للنظام كالأمتلة الآتية:

❖ العقدة  : يتم ادخال المنسوب مقدار الطلب لكل عقدة.



Property	Value
*Junction ID	4
X-Coordinate	2889.83
Y-Coordinate	8550.00
Description	
Tag	
*Elevation	0
Base Demand	0
Demand Pattern	
Demand Categories	1
Emitter Coeff.	
Initial Quality	
Source Quality	

الشكل (3 - 3): نافذة خواص العقدة "الوصلة".


❖ الأنابيب  : يتم ادخال الطول والقطر ومعامل الخشونة لكل أنبوب.

Property	Value
*Pipe ID	4
*Start Node	4
*End Node	7
Description	
Tag	
*Length	1000
*Diameter	12
*Roughness	100
Loss Coeff.	0
Initial Status	Open
Bulk Coeff.	
Wall Coeff.	

الشكل (3 - 4): نافذة خواص الأنابيب.

❖ الخزانات   : يتم ادخال قطر وارتفاع ومنسوب كل خزان، ومنسوب الماء داخله.

3. تحديد أحد خيارات التحليل المتعددة، مثل وحدات حساب التدفق والمعادلة المستخدمة لحساب الفواقد ... وغيرها.

4. بدء التحليل بالضغط على مفتاح التشغيل  .

5. إذا اتضح وجود ضغط سالب في الشبكة، فهذا يستلزم التعديل وإعادة المحاولة وحتى تظهر جملة "Run was successful".

6. يمكن استخراج جداول وخرائط لنتائج التحليل.

7. يمكن الاستفادة من البرنامج في استخراج علاقة بين السرعة والزمن والتدفق، والمنسوب ... وغير ذلك.

### 3.2.3 مميزات البرنامج:

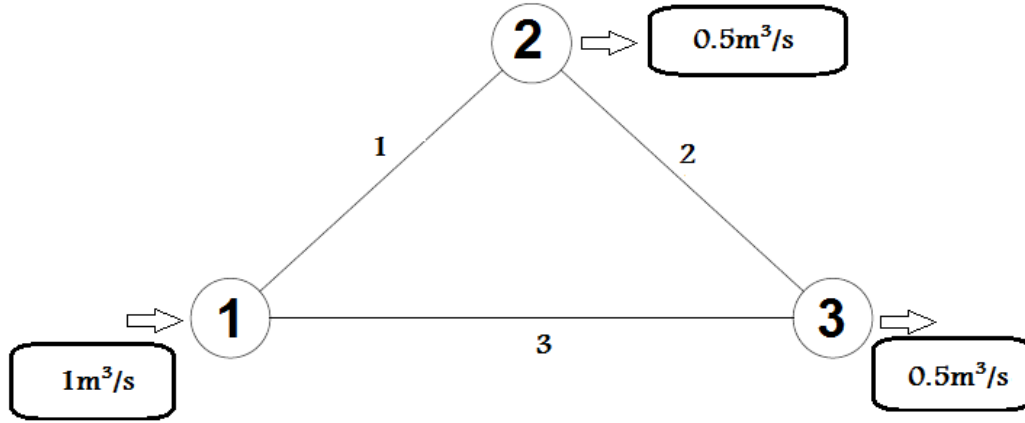
1. لا يضع حدود لحجم الشبكة المراد تحليلها.
2. يحسب فواقد الاحتكاك بطريقة هازن وليام، دارسي وايزاخ، تشيزي مانغ.
3. يحسب الفواقد الثانوية.
4. يمكن حساب تكلفة المضخات وقوة الضخ.
5. يمكن ادخال المضخات ثابتة السرعة والمتغيرات.
6. يمكن ادخال صمامات القفل، صمامات التحكم في الدفق، وصمامات تخفيض الضغط.
7. يسمح بإدخال أحجام مختلفة لأحواض التخزين.

✓ مثال:

## مقارنة نظرية بين طرق تحليل شبكات المياه

الجدول (3 - 1): إيجاد التدفقات لشبكة توضيحية باستخدام برنامج EPANET.

PIPE	D (mm)	L (m)
1	700	1000
2	600	1500
3	800	2000



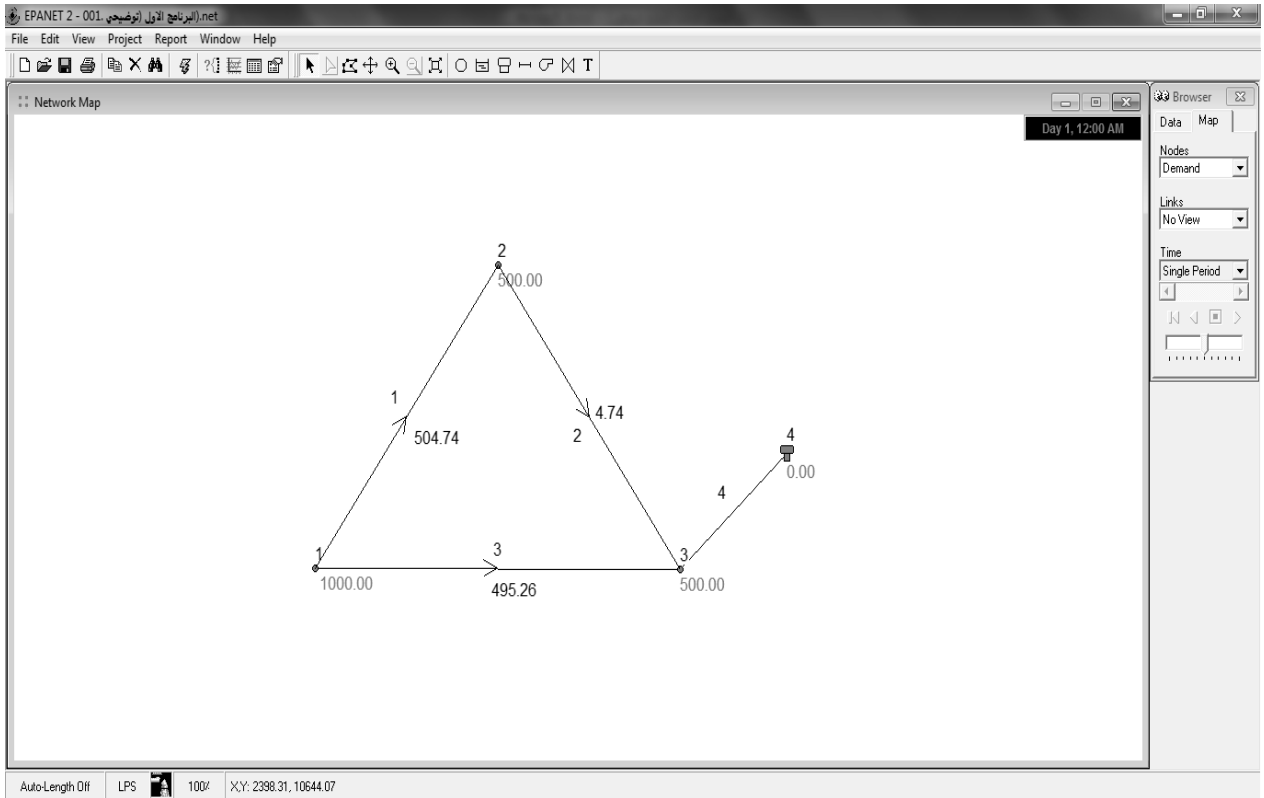
الشكل (3 - 5): شبكة مياه بسيطة توضح التدفق الداخل والخارج من العقد.

✓ الحل:

Link ID	Length m	Diameter mm	Flow LPS	Velocity m/s	Friction Factor
Pipe 1	1000	700	504.74	1.31	0.013
Pipe 2	1500	600	4.74	0.02	0.031
Pipe 3	2000	800	495.26	0.99	0.013
Pipe 4	1000	12	0.00	0.00	0.000

الشكل (3 - 6): جدول يبين مدخلات ومخرجات برنامج EPANET.

## مقارنة نظرية بين طرق تحليل شبكات المياه



الشكل (3 - 7): شبكة مياه توضح مخرجات التدفقات حسب برنامج EPANET.

## الفصل الرابع

تطبيق طرق الحل على الأمثلة المختلفة

1.4. الشبكات من حلقة واحدة.

1.1.4. طريقة هاردي كروس.

2.1.4. الطريقة الخطية (طريقة لينير).

3.1.4. استخدام برنامج EPANET.

2.4. الشبكات من حلقتين.

1.2.4. طريقة هاردي كروس.

2.2.4. الطريقة الخطية (طريقة لينير).

3.2.4. استخدام برنامج EPANET.

3.4. الشبكات من ثلاث حلقات.

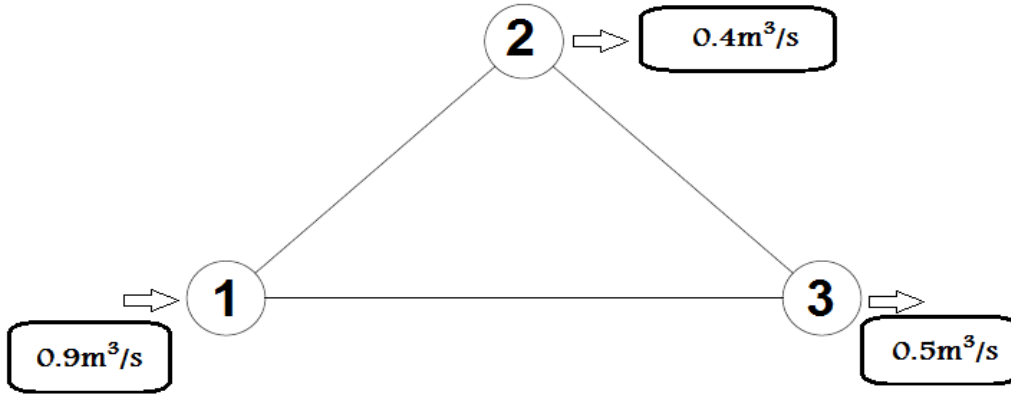
1.3.4. طريقة هاردي كروس.

2.3.4. الطريقة الخطية (طريقة لينير).

3.3.4. استخدام برنامج EPANET.

4. تطبيق طرق الحل على الأمثلة المختلفة:

1.4. الشبكات من حلقة واحدة:

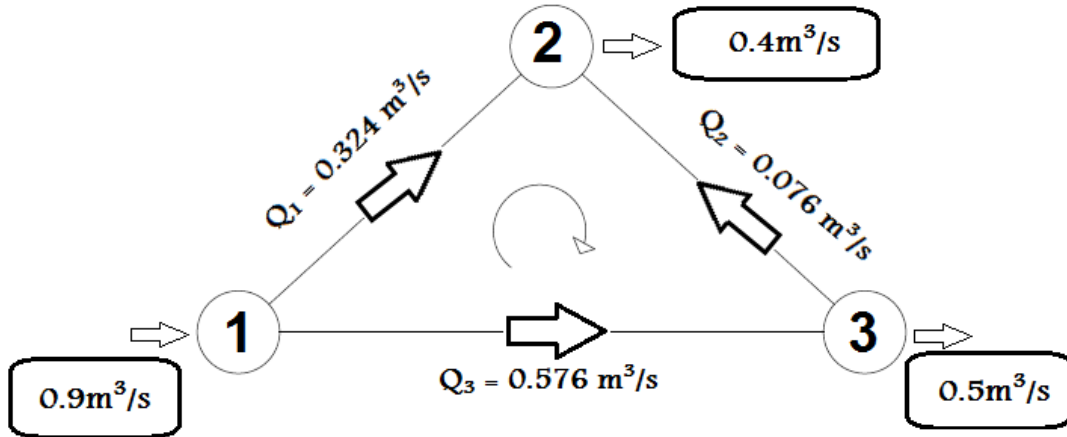


الشكل (4 - 1): شبكة مياه من حلقة واحدة توضح التدفق الداخل والخارج من العقد.

$$K = \frac{8 f L}{\pi^2 g D^5} \quad f = 0.026$$

الجدول (4 - 1): بيانات الشبكة من حلقة واحدة.

PIPE	D (mm)	L (m)	K
1 --- 2	600	2000	55.25
2 --- 3	300	2500	2210.2
1 --- 3	800	4000	26.25



الشكل (4 - 2): شبكة مياه من حلقة واحدة توضح توزيع التدفقات المفروض مبدئياً.

#### 1.1.4 طريقة هاردي كروس:

$$\Delta Q = - \frac{\sum h_{fi}}{2 \sum \left| \frac{h_{fi}}{Q_i} \right|}$$

#### CYCLE 1:

الجدول (4 - 2): طريقة هاردي كروس للمحاولة الأولى.

LOOP	PIPE	K	Q	KQ <sup>2</sup>	2KQ	ΔQ	Q
I	1 --- 2	55.25	+0.324	+5.8	35.802	+0.039	+0.363
	2 --- 3	2210.2	-0.076	-12.77	335.95		-0.037
	1 --- 3	26.25	-0.576	-8.709	30.24		-0.537
			Σ	-15.675	401.99		

$$\Delta Q = \frac{-(-15.675)}{401.99} = +0.039$$

**CYCLE 2:**

الجدول (4 - 3): طريقة هاردي كروس للمحاولة الثانية.

LOOP	PIPE	K	Q	KQ <sup>2</sup>	2KQ	ΔQ	Q
I	1 --- 2	55.25	+0.363	+7.28	40.11	+0.014	+0.377
	2 --- 3	2210.2	-0.037	-3.025	163.5		-0.023
	1 --- 3	26.25	-0.537	-7.57	28.19		-0.523
				Σ	-3.315	231.8	

$$\Delta Q = \frac{-(-3.315)}{231.8} = +0.014$$

**CYCLE 3:**

الجدول (4 - 4): طريقة هاردي كروس للمحاولة الثالثة.

LOOP	PIPE	K	Q	KQ <sup>2</sup>	2KQ	ΔQ	Q
I	1 --- 2	55.25	+0.377	+7.85	41.64	+0.003	+0.380
	2 --- 3	2210.2	-0.023	-1.17	101.74		-0.020
	1 --- 3	26.25	-0.523	-7.18	27.46		-0.520
				Σ	-0.5	170.84	

$$\Delta Q = \frac{-(-0.5)}{170.84} = +0.003$$



**CYCLE 4:**

الجدول (4 - 5): طريقة هاردي كروس للمحاولة الرابعة.

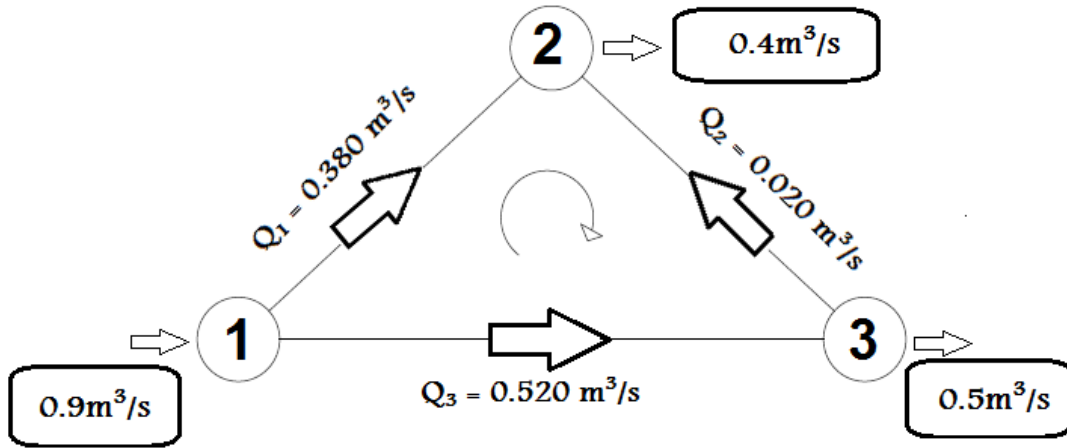
LOOP	PIPE	K	Q	KQ <sup>2</sup>	2KQ	ΔQ	Q
I	1 --- 2	55.25	+0.380	+7.98	42	+0.000	+0.380
	2 --- 3	2210.2	-0.020	-0.88	88		-0.020
	1 --- 3	26.25	-0.520	-7.1	27.31		-0.520
			Σ	0	157.31		

$$\Delta Q = \frac{-(-0)}{157.31} = +0.000$$

$$Q_{1-2} = 0.380 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{1-3} = 0.520 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{2-3} = 0.020 \text{ m}^3/\text{s}$$



الشكل (4 - 3): شبكة مياه من حلقة واحدة توضح التدفقات المصححة بطريقة هاردي كروس للمحاولة المربعة.

2.1.4. الطريقة الخطية:

- معادلات الاستمرارية:

$$(1) \quad Q_{1-2} + Q_{1-3} = 0.9$$

$$(2) \quad Q_{1-2} + Q_{2-3} = 0.4$$

- معادلات بقاء الطاقة:

$$\Sigma h_L = 0$$

$$K_{1-2} Q_{1-2} | Q_{1-2} | + K_{2-3} Q_{2-3} | Q_{2-3} | - K_{3-1} Q_{3-1} | Q_{3-1} | = 0$$

**CYCLE 1:**

$$55.25 \times 0.324 Q_{1-2} - 2210.2 \times 0.076 Q_{2-3} - 26.25 \times 0.576 Q_{3-1} = 0$$

$$(3) \quad 17.901 Q_{1-2} - 167.975 Q_{2-3} - 15.12 Q_{3-1} = 0$$

$$\begin{vmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \\ 17.901 & -167.975 & -15.12 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} Q_{1-2} \\ Q_{2-3} \\ Q_{3-1} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0.9 \\ 0.4 \\ 0 \end{vmatrix}$$

$$Q_{1-2} = 0.402 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{2-3} = -0.002 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{1-3} = 0.498 \text{ m}^3/\text{s}$$

**CYCLE 2:**

$$55.25 \times 0.361 Q_{1-2} - 2210.2 \times 0.039 Q_{2-3} - 26.25 \times 0.539 Q_{3-1} = 0$$

$$(3) \quad 19.94 Q_{1-2} - 86.2 Q_{2-3} - 14.15 Q_{3-1} = 0$$

$$\begin{vmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \\ 19.94 & -86.2 & -14.15 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} Q_{1-2} \\ Q_{2-3} \\ Q_{3-1} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0.9 \\ 0.4 \\ 0 \end{vmatrix}$$

$$Q_{1-2} = 0.393 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{2-3} = 0.007 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{1-3} = 0.507 \text{ m}^3/\text{s}$$

**CYCLE 3:**

$$55.25 \times 0.377 Q_{1-2} - 2210.2 \times 0.023 Q_{2-3} - 26.25 \times 0.523 Q_{3-1} = 0$$

$$(3) \quad 20.83 Q_{1-2} - 50.83 Q_{2-3} - 13.73 Q_{3-1} = 0$$

$$\begin{vmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \\ 20.83 & -50.83 & -13.73 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} Q_{1-2} \\ Q_{2-3} \\ Q_{3-1} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0.9 \\ 0.4 \\ 0 \end{vmatrix}$$

$$Q_{1-2} = 0.383 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{2-3} = 0.017 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{1-3} = 0.517 \text{ m}^3/\text{s}$$

**CYCLE 4:**

$$55.25 \times 0.380 Q_{1-2} - 2210.2 \times 0.020 Q_{2-3} - 26.25 \times 0.520 Q_{3-1} = 0$$

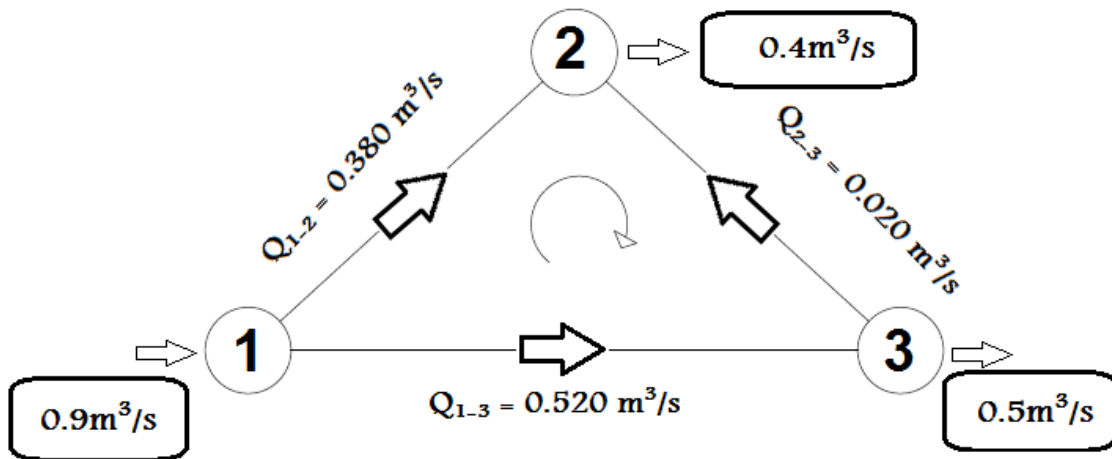
$$(3) \quad 20.96 Q_{1-2} - 44.20 Q_{2-3} - 13.65 Q_{3-1} = 0$$

$$\begin{vmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \\ 20.96 & -44.20 & -13.65 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} Q_{1-2} \\ Q_{2-3} \\ Q_{3-1} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0.9 \\ 0.4 \\ 0 \end{vmatrix}$$

$$Q_{1-2} = 0.380 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{2-3} = 0.020 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{1-3} = 0.520 \text{ m}^3/\text{s}$$



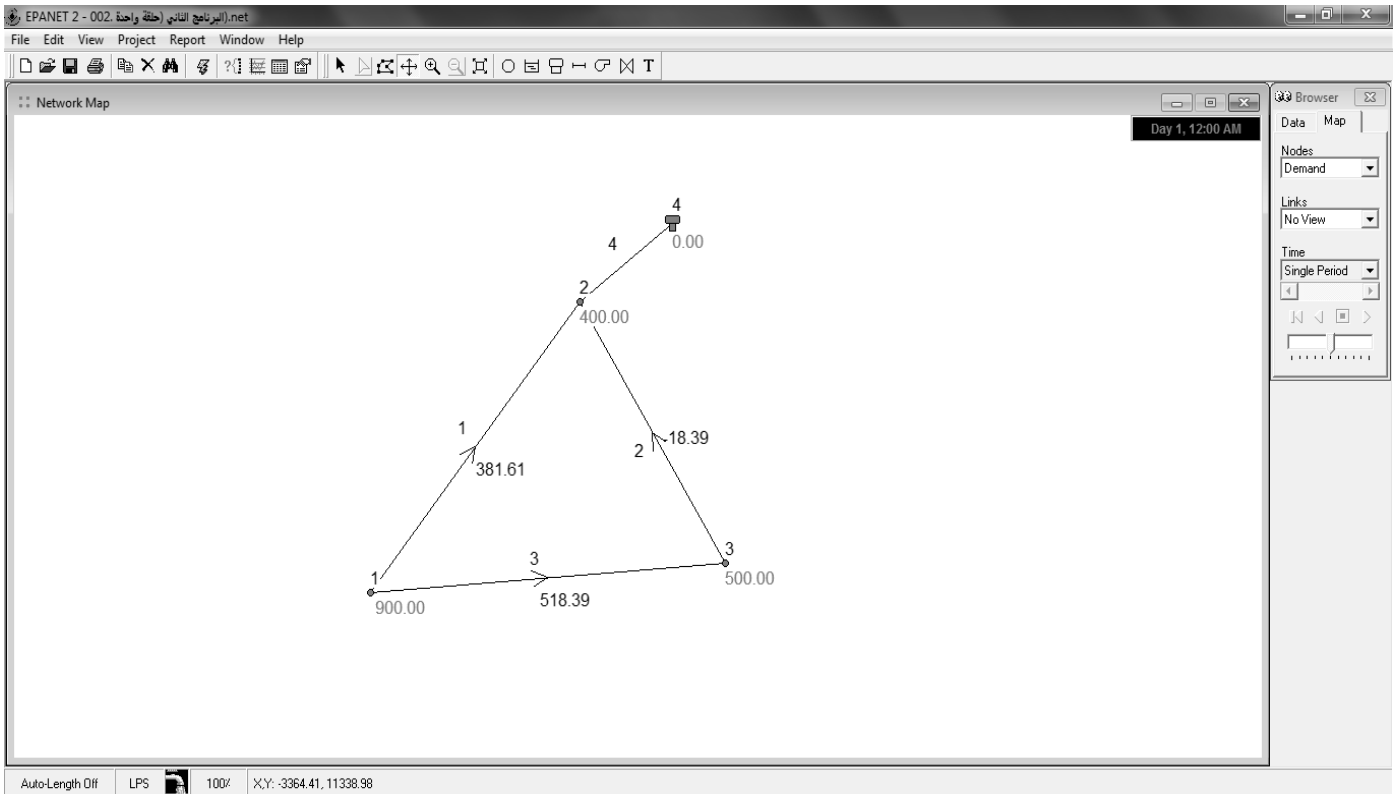
الشكل (4 - 4): شبكة مياه من حلقة واحدة توضح التدفقات المصححة بالطريقة الخطية للمحاولة الرابعة.

#### 3.1.4. استخدام برنامج EPANET:

## مقارنة نظرية بين طرق تحليل شبكات المياه

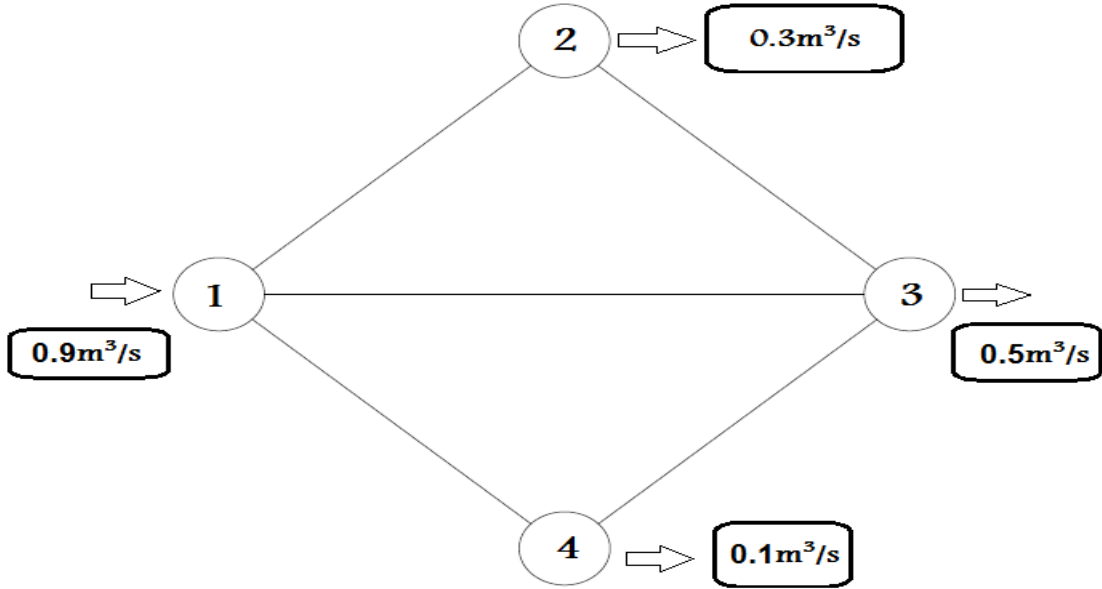
Link ID	Length m	Diameter mm	Flow LPS	Velocity m/s	Friction Factor
Pipe 1	2000	600	381.61	1.35	0.013
Pipe 2	2500	300	-18.39	0.26	0.019
Pipe 3	4000	800	518.39	1.03	0.013
Pipe 4	1000	12	0.00	0.00	0.000

الشكل (4 - 5): جدول مدخلات ومخرجات برنامج "EPANET" لشبكة من حلقة واحدة.



الشكل (4 - 6): شبكة مياه من حلقة واحدة توضح مخرجات التدفقات حسب برنامج "EPANET".

### 2.4. شبكات من حلقتين:

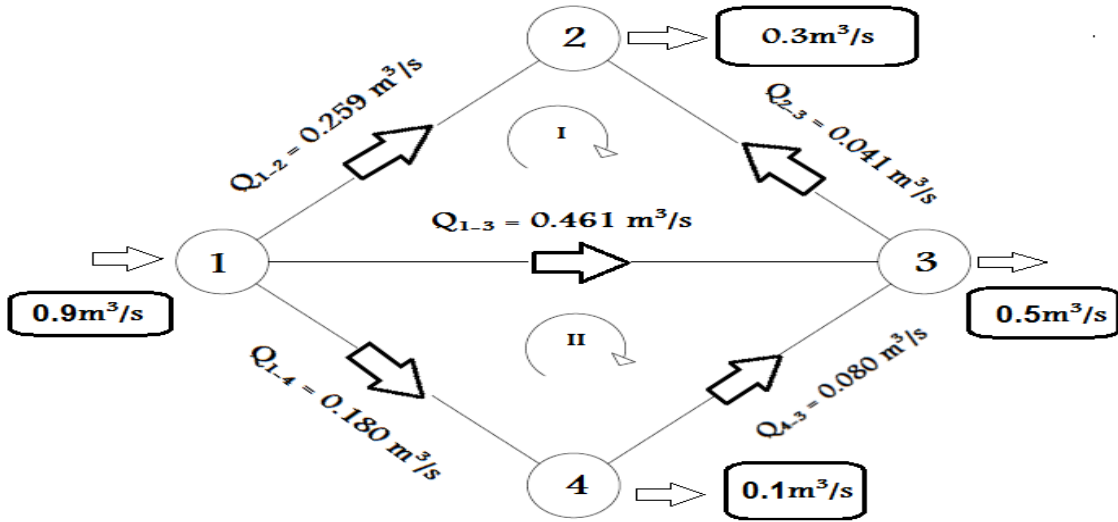


الشكل (4 - 7): شبكة مياه من حلقتين توضح التدفق الداخل والخارج من العقد.

$$K = \frac{8 f L}{\pi^2 g D^5} \quad "f = 0.026"$$

الجدول (4 - 6): بيانات الشبكة من حلقتين.

PIPE	D (mm)	L (m)	K
1 --- 2	600	3000	82.96
2 --- 3	400	2000	420.02
1 --- 3	800	4000	26.25
1 --- 4	500	5000	344.08
3 --- 4	300	4500	3982.37



الشكل (4 - 8): شبكة مياه من حلقتين توضح توزيع التدفقات المفروض مبدئياً.

### 1.2.5 طريقة هاردي كروس:

$$\Delta Q = - \frac{\sum h_{fi}}{2 \sum \left| \frac{h_{fi}}{Q_i} \right|}$$

#### CYCLE 1:

#### LOOP 1:

الجدول (4 - 7): طريقة هاردي كروس للمحاولة الأولى للحلقة ا.

LOOP	PIPE	K	Q	KQ <sup>2</sup>	2KQ	ΔQ	Q
I	1 --- 2	82.96	+0.259	+5.57	43.01	+0.007	+0.266
	2 --- 3	420.02	-0.041	-0.71	34.63		-0.034
	1 --- 3	26.25	-0.461	-5.58	24.21		-0.454
			Σ	-0.72	101.85		

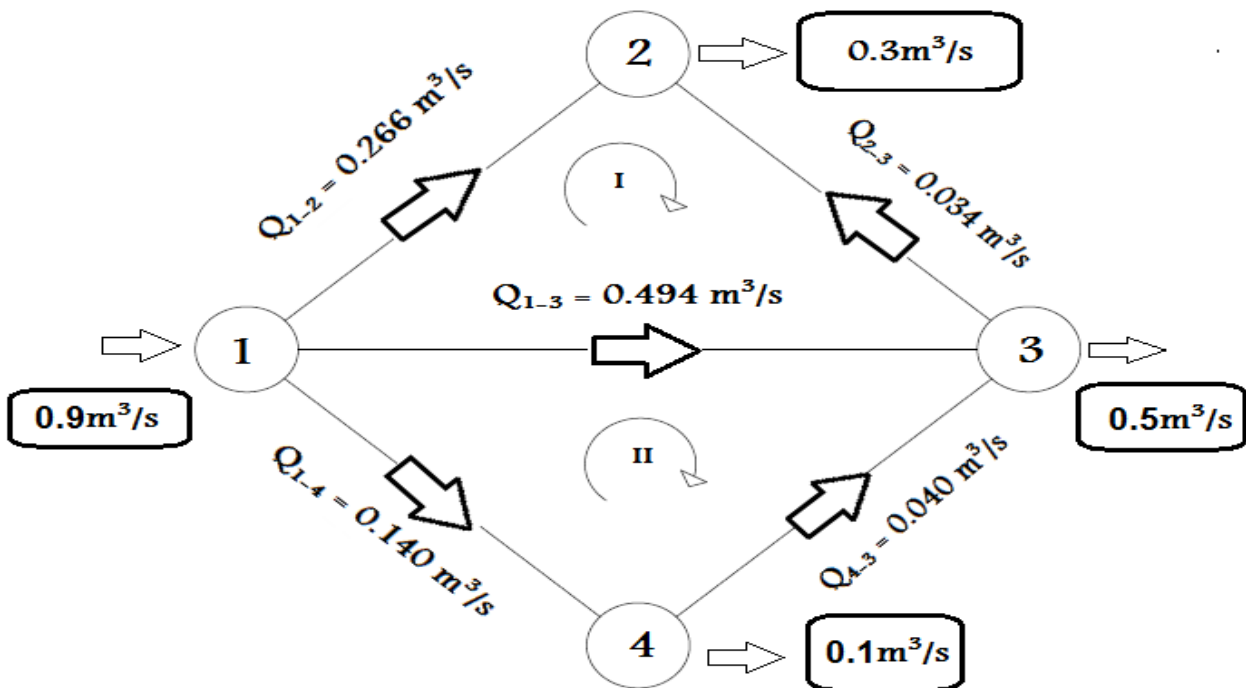
$$\Delta Q = \frac{-(-0.72)}{101.85} = +0.007$$

LOOP 2:

الجدول (4 - 8): طريقة هاردي كروس للمحاولة الأولى للحلقة II.

LOOP	PIPE	K	Q	KQ <sup>2</sup>	2KQ	ΔQ	Q
II	1 --- 3	26.25	+0.454	+5.41	23.83	+0.040	+0.494
	1 --- 4	344.08	-0.180	-11.15	123.89		-0.140
	3 --- 4	3982.37	-0.080	-25.49	637.25		-0.040
			Σ	-31.23	784.97		

$$\Delta Q = \frac{-(-31.23)}{784.97} = +0.040$$



الشكل (4 - 9): شبكة مياه من حلقتين توضح التدفقات المصححة بطريقة هاردي كروس للمحاولة الأولى.



**CYCLE 2:**

LOOP 1:

الجدول (4 - 9): طريقة هاردي كروس للمحاولة الثانية للحلقة ا.

LOOP	PIPE	K	Q	KQ <sup>2</sup>	2KQ	ΔQ	Q
I	1 --- 2	82.96	+0.266	+5.87	44.13	+0.010	+0.276
	2 --- 3	420.02	-0.034	-0.48	28.23		-0.024
	1 --- 3	26.25	-0.494	-6.41	25.95		-0.484
			Σ	-1.02	98.31		

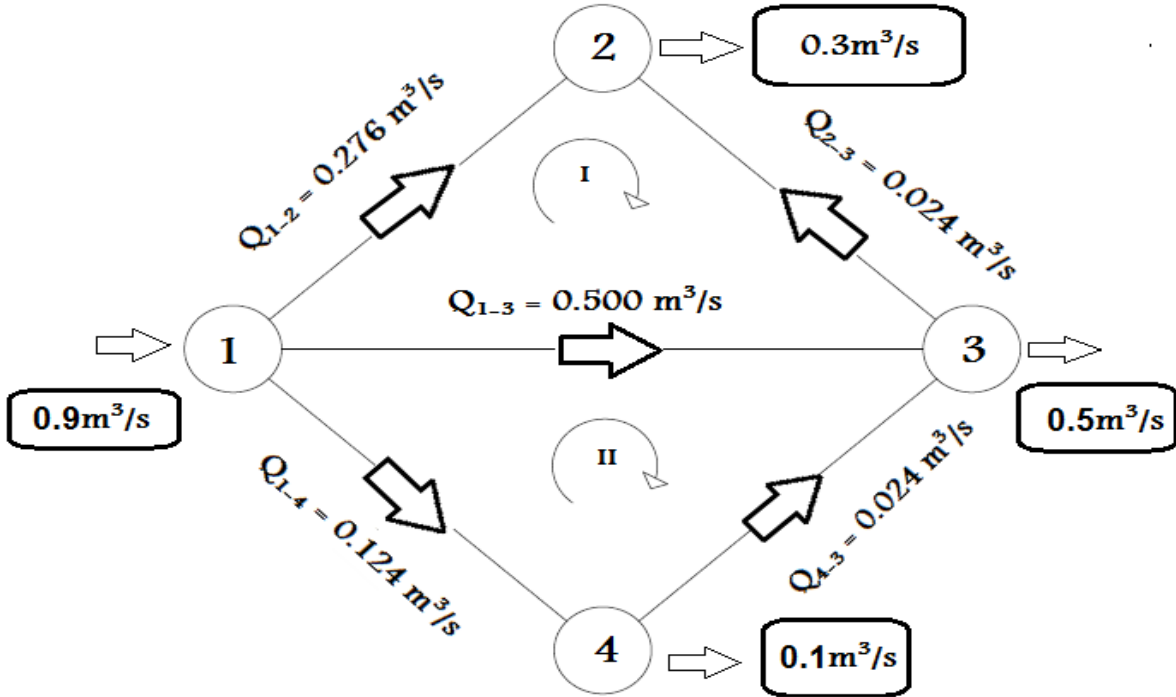
$$\Delta Q = \frac{-(-1.02)}{98.31} = +0.010$$

LOOP 2:

الجدول (4 - 10): طريقة هاردي كروس للمحاولة الثانية للحلقة اا.

LOOP	PIPE	K	Q	KQ <sup>2</sup>	2KQ	ΔQ	Q
I	1 --- 3	26.25	+0.484	+6.15	25.41	+0.016	+0.500
	1 --- 4	344.08	-0.140	-6.74	96.28		-0.124
	3 --- 4	3982.37	-0.040	-6.37	318.5		-0.024
			Σ	-6.96	440.2		

$$\Delta Q = \frac{-(-6.96)}{440.2} = +0.016$$



الشكل (4 - 10): شبكة مياه من حلقتين توضح التدفقات المصححة بطريقة هاردي كروس للمحاولة الثانية.

**CYCLE 3:**

LOOP 1:

الجدول (4 - 11): طريقة هاردي كروس للمحاولة الثالثة للحلقة ا.

LOOP	PIPE	K	Q	$KQ^2$	2KQ	$\Delta Q$	Q
I	1 --- 2	82.96	+0.276	+6.32	45.80	+0.006	+0.282
	2 --- 3	420.02	-0.024	-0.24	2		-0.018
	1 --- 3	26.25	-0.500	-6.56	26.24		-0.494
			$\Sigma$	-0.48	74.04		

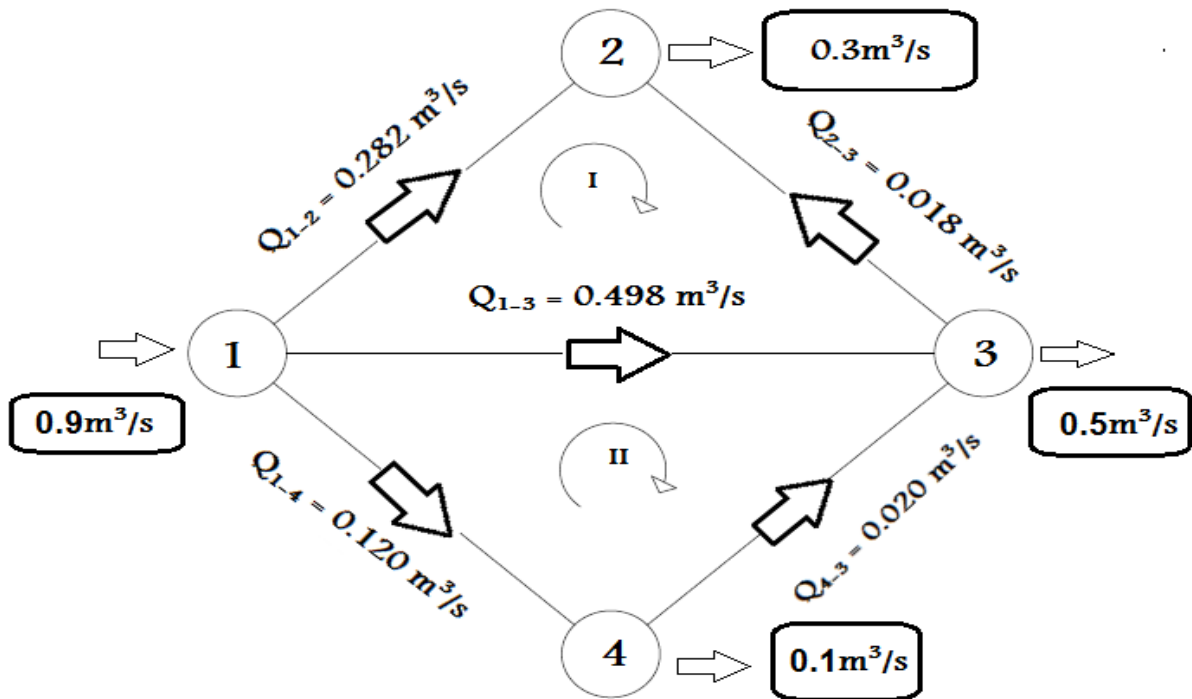
$$\Delta Q = \frac{-(-0.48)}{74.04} = +0.006$$

LOOP 2:

الجدول (4 - 12): طريقة هاردي كروس للمحاولة الثالثة للحلقة II.

LOOP	PIPE	K	Q	$KQ^2$	$2KQ$	$\Delta Q$	Q
I	1 --- 3	26.25	+0.494	+6.41	25.95	+0.004	+0.498
	1 --- 4	344.08	-0.124	-5.29	85.32		-0.120
	3 --- 4	3982.37	-0.024	-2.29	190.80		-0.020
			$\Sigma$		-1.17	302.07	

$$\Delta Q = \frac{-(-1.17)}{302.07} = +0.004$$



الشكل (4 - 11): شبكة مياه من حلقتين توضح التدفقات المصححة بطريقة هاردي كروس للمحاولة الثالثة.

**CYCLE 4:**

LOOP 1:

الجدول (4 - 13): طريقة هاردي كروس للمحاولة الرابعة للحلقة ا.

LOOP	PIPE	K	Q	KQ <sup>2</sup>	2KQ	ΔQ	Q
I	1 --- 2	82.96	+0.282	+6.60	46.80	+0.001	+0.283
	2 --- 3	420.02	-0.018	-0.14	15.5		-0.017
	1 --- 3	26.25	-0.498	-6.51	26.14		-0.497
				Σ	-0.05	88.44	

$$\Delta Q = \frac{-(-0.05)}{88.44} = +0.001$$

LOOP 2:

الجدول (4 - 14): طريقة هاردي كروس للمحاولة الرابعة للحلقة ا.

LOOP	PIPE	K	Q	KQ <sup>2</sup>	2KQ	ΔQ	Q
I	1 --- 3	26.25	+0.497	+6.48	26.09	+0.000	+0.497
	1 --- 4	344.08	-0.120	-4.95	82.5		-0.120
	3 --- 4	3982.37	-0.020	-1.59	159		-0.020
				Σ	-0.06	277.6	

$$\Delta Q = \frac{-(-0.06)}{277.6} = +0.000$$

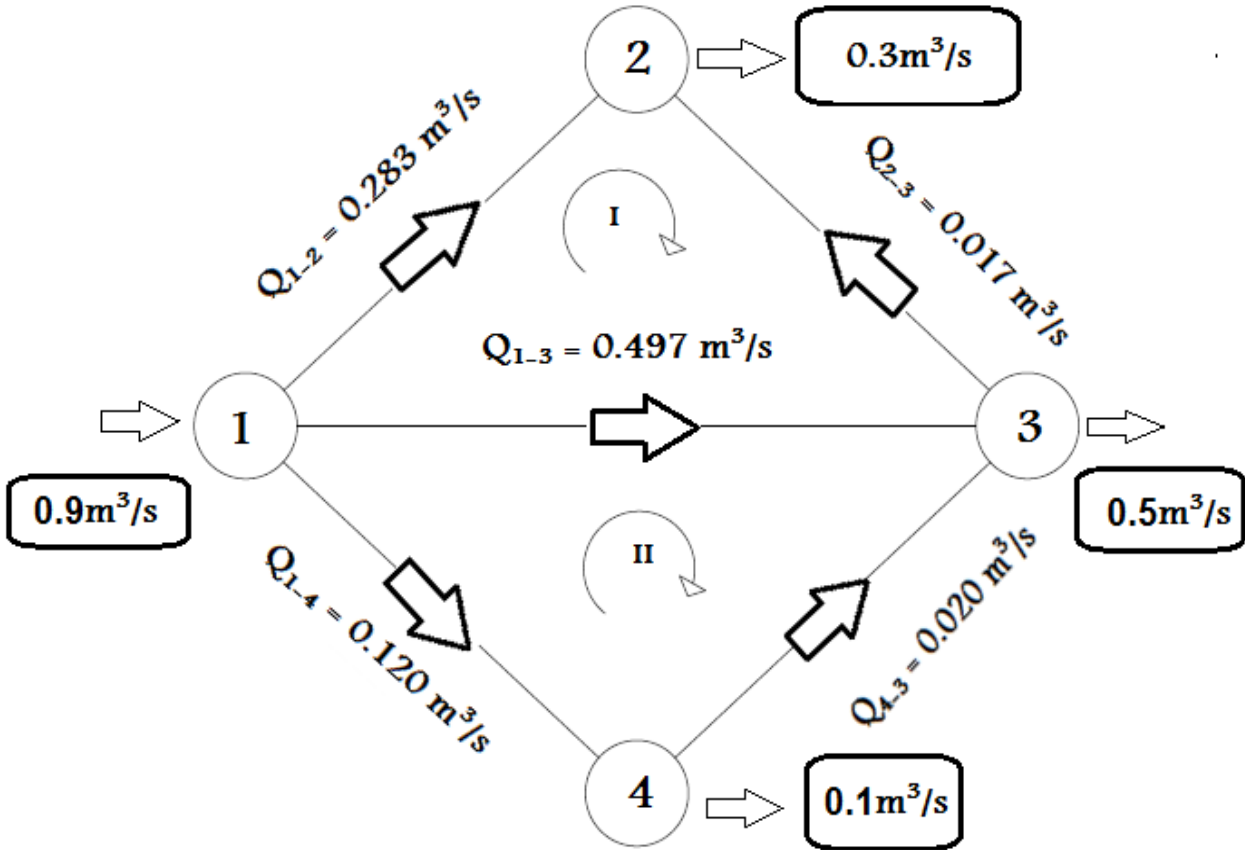
$$Q_{1-2} = 0.283 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{2-3} = 0.017 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{1-3} = 0.497 \text{ m}^3/\text{s}$$

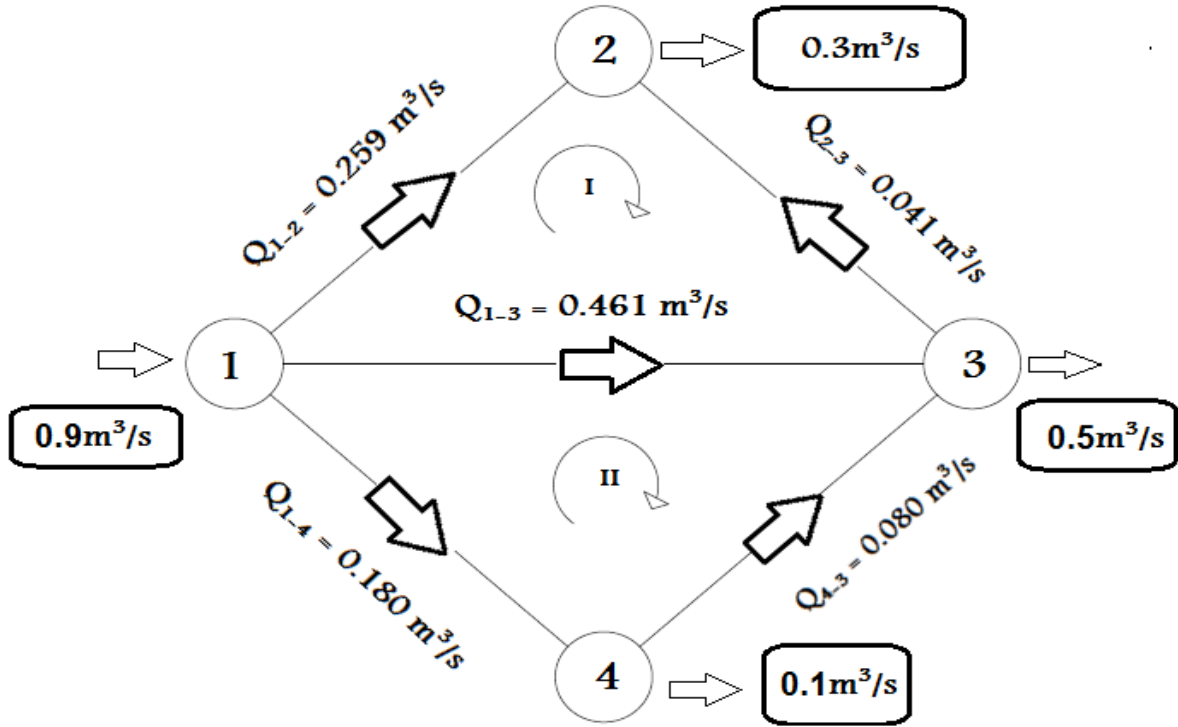
$$Q_{1-4} = 0.120 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{3-4} = 0.020 \text{ m}^3/\text{s}$$



الشكل (4 - 12): شبكة مياه من حلقتين توضح التدفقات المصححة بطريقة هاردي كروس للمحاولة الرابعة.

#### 2.2.4. الطريقة الخطية:



الشكل (4 - 13): شبكة مياه من حلقتين توضح توزيع التدفقات المفروض مبدئياً.

- معادلات الاستمرارية:

$$Q_{1-2} + Q_{1-3} + Q_{1-4} = 0.9 \quad (1)$$

$$Q_{1-2} + Q_{2-3} = 0.3 \quad (2)$$

$$Q_{1-4} + Q_{3-4} = 0.1 \quad (3)$$

- معادلات بقاء الطاقة:

$$\sum h_L = 0$$

$$K_{1-2} Q_{1-2} | Q_{1-2} | + K_{2-3} Q_{2-3} | Q_{2-3} | - K_{3-1} Q_{3-1} | Q_{3-1} | = 0$$

$$K_{1-3} Q_{1-3} | Q_{1-3} | + K_{3-4} Q_{3-4} | Q_{3-4} | - K_{1-4} Q_{1-4} | Q_{1-4} | = 0$$

**CYCLE 1:**

$$82.96 \times 0.259Q_{1-2} - 420.02 \times 0.041Q_{2-3} - 26.25 \times 0.461Q_{3-1} = 0$$

$$21.49Q_{1-2} - 17.22Q_{2-3} - 12.10Q_{3-1} = 0 \quad (4)$$

$$26.25 \times 0.461Q_{1-3} - 3982.37 \times 0.080Q_{3-4} - 344.08 \times 0.180Q_{1-4} = 0$$

$$12.10Q_{1-3} - 318.60Q_{3-4} - 61.93Q_{1-4} = 0 \quad (5)$$

$$\begin{vmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \\ 21.49 & -17.22 & -12.10 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 12.10 & -61.93 & -318.6 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} Q_{1-2} \\ Q_{2-3} \\ Q_{1-3} \\ Q_{1-4} \\ Q_{3-4} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0.9 \\ 0.3 \\ 0.1 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix}$$

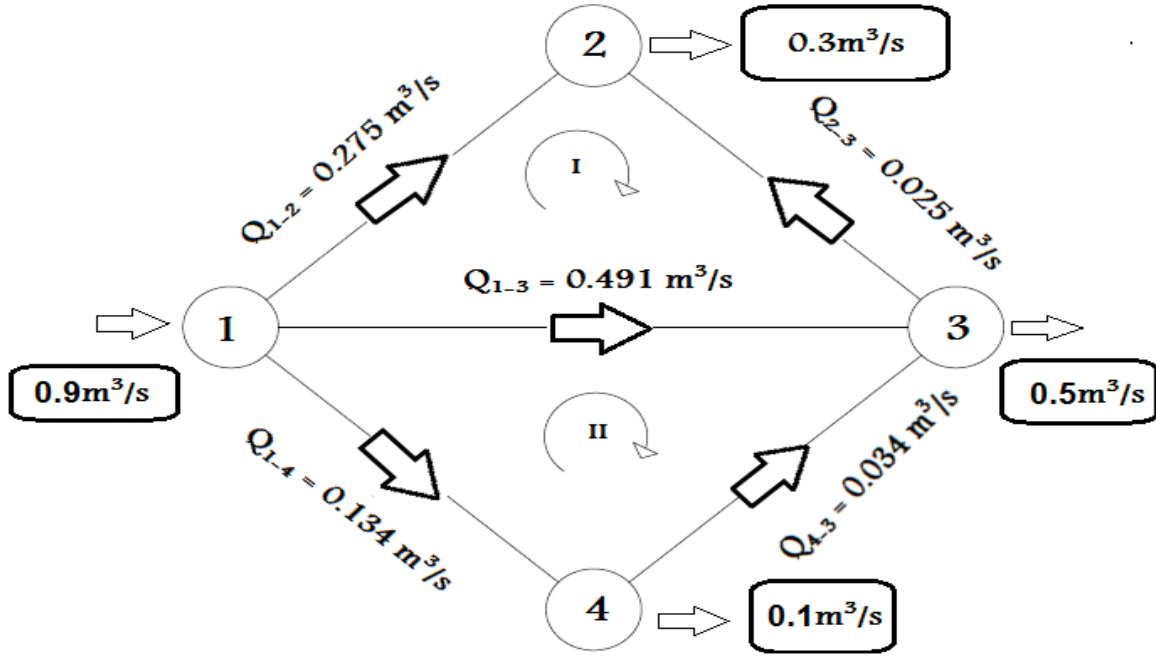
$$Q_{1-2} = 0.275 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{2-3} = 0.025 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{1-3} = 0.491 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{1-4} = 0.134 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{3-4} = 0.034 \text{ m}^3/\text{s}$$



الشكل (4 - 14): شبكة مياه من حلقتين توضح التدفقات المصححة بطريقة خطية للمحاولة الأولى.

**:2CYCLE**

$$82.96 \times 0.275Q_{1-2} - 420.02 \times 0.025Q_{2-3} - 26.25 \times 0.491Q_{3-1} = 0$$

$$22.81Q_{1-2} - 10.50Q_{2-3} - 12.89Q_{3-1} = 0 \quad (4)$$

$$26.25 \times 0.491Q_{1-3} - 3982.37 \times 0.034Q_{3-4} - 344.08 \times 0.134Q_{1-4} = 0$$

$$12.89Q_{1-3} - 135.40Q_{2-3} - 46.11Q_{3-1} = 0 \quad (5)$$

$$\begin{vmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \\ 22.81 & -10.50 & -12.89 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 12.89 & -46.11 & -135.40 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} Q_{1-2} \\ Q_{2-3} \\ Q_{1-3} \\ Q_{1-4} \\ Q_{3-4} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0.9 \\ 0.3 \\ 0.1 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix}$$

$$Q_{1-2} = 0.282 \text{ m}^3/\text{s}$$

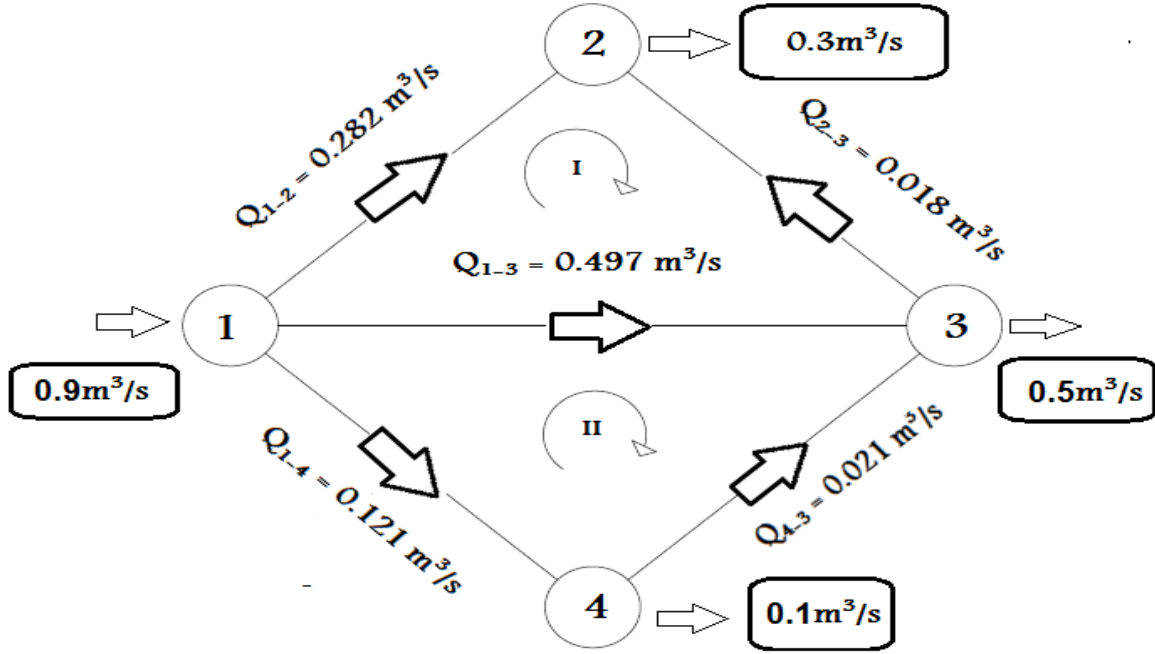
$$Q_{2-3} = 0.018 \text{ m}^3/\text{s}$$



$$Q_{1-3} = 0.497 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{1-4} = 0.121 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{3-4} = 0.021 \text{ m}^3/\text{s}$$



الشكل (4 - 15): شبكة مياه من حلقتين توضح التدفقات المصححة بطريقة خطية للمحاولة الثانية.

### CYCLE 3:

$$82.96 \times 0.282Q_{1-2} - 420.02 \times 0.018Q_{2-3} - 26.25 \times 0.497Q_{3-1} = 0$$

$$23.39Q_{1-2} - 7.56Q_{2-3} - 13.05Q_{3-1} = 0 \quad (4)$$

$$26.25 \times 0.497Q_{1-3} - 3982.37 \times 0.021Q_{3-4} - 344.08 \times 0.121Q_{1-4} = 0$$

$$13.05Q_{1-3} - 83.63Q_{2-3} - 41.63Q_{3-1} = 0 \quad (5)$$

$$\begin{vmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \\ 23.39 & -7.56 & -13.05 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 13.05 & -41.63 & -83.63 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} Q_{1-2} \\ Q_{2-3} \\ Q_{1-3} \\ Q_{1-4} \\ Q_{3-4} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0.9 \\ 0.3 \\ 0.1 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix}$$

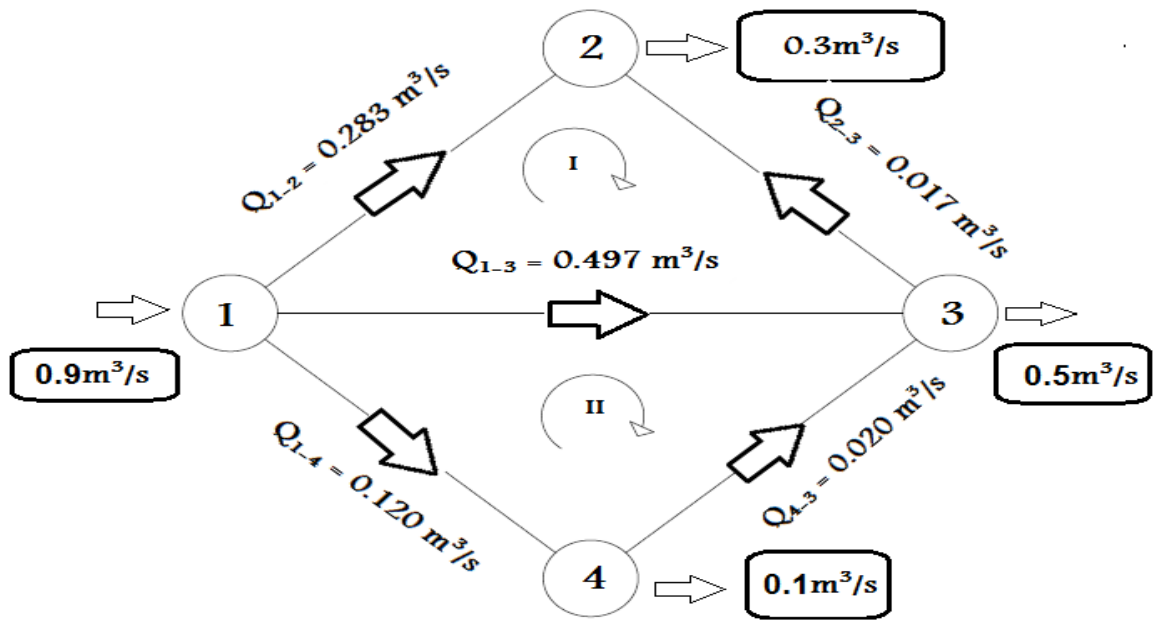
$$Q_{1-2} = 0.283 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{2-3} = 0.017 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{1-3} = 0.497 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{1-4} = 0.120 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{3-4} = 0.020 \text{ m}^3/\text{s}$$



الشكل (4 - 16): شبكة مياه من حلقتين توضح التدفقات المصححة بطريقة خطية للمحاولة الثالثة.

#### CYCLE 4:

$$82.96 \times 0.283Q_{1-2} - 420.02 \times 0.017Q_{2-3} - 26.25 \times 0.497Q_{3-1} = 0$$

$$23.48Q_{1-2} - 7.14Q_{2-3} - 13.05Q_{3-1} = 0 \quad (4)$$

$$26.25 \times 0.497Q_{1-3} - 3982.37 \times 0.020Q_{3-4} - 344.08 \times 0.120Q_{1-4} = 0$$

$$13.05Q_{1-3} - 79.65Q_{2-3} - 41.30Q_{3-1} = 0 \quad (5)$$

$$\begin{vmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \\ 23.48 & -7.14 & -13.05 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 13.05 & -41.30 & -79.65 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} Q_{1-2} \\ Q_{2-3} \\ Q_{1-3} \\ Q_{1-4} \\ Q_{3-4} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0.9 \\ 0.3 \\ 0.1 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix}$$

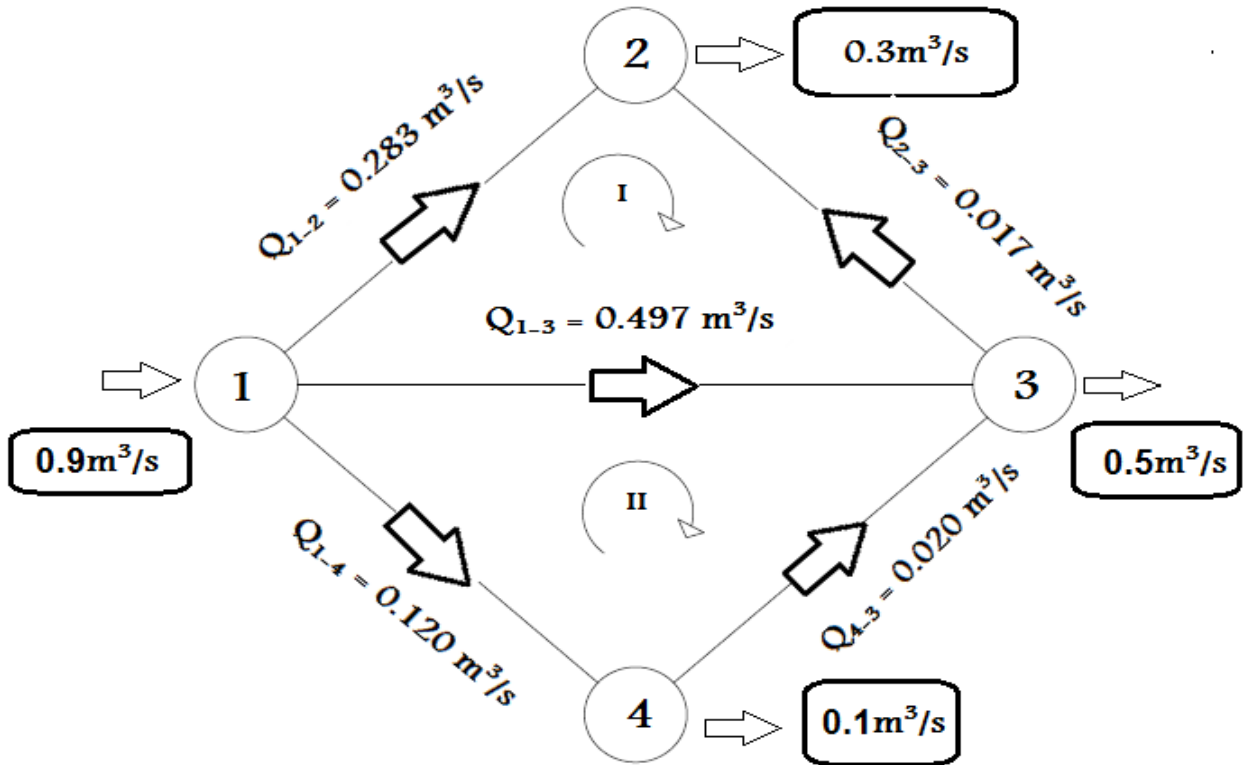
$$Q_{1-2} = 0.283 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{2-3} = 0.017 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{1-3} = 0.497 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{1-4} = 0.120 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{3-4} = 0.020 \text{ m}^3/\text{s}$$

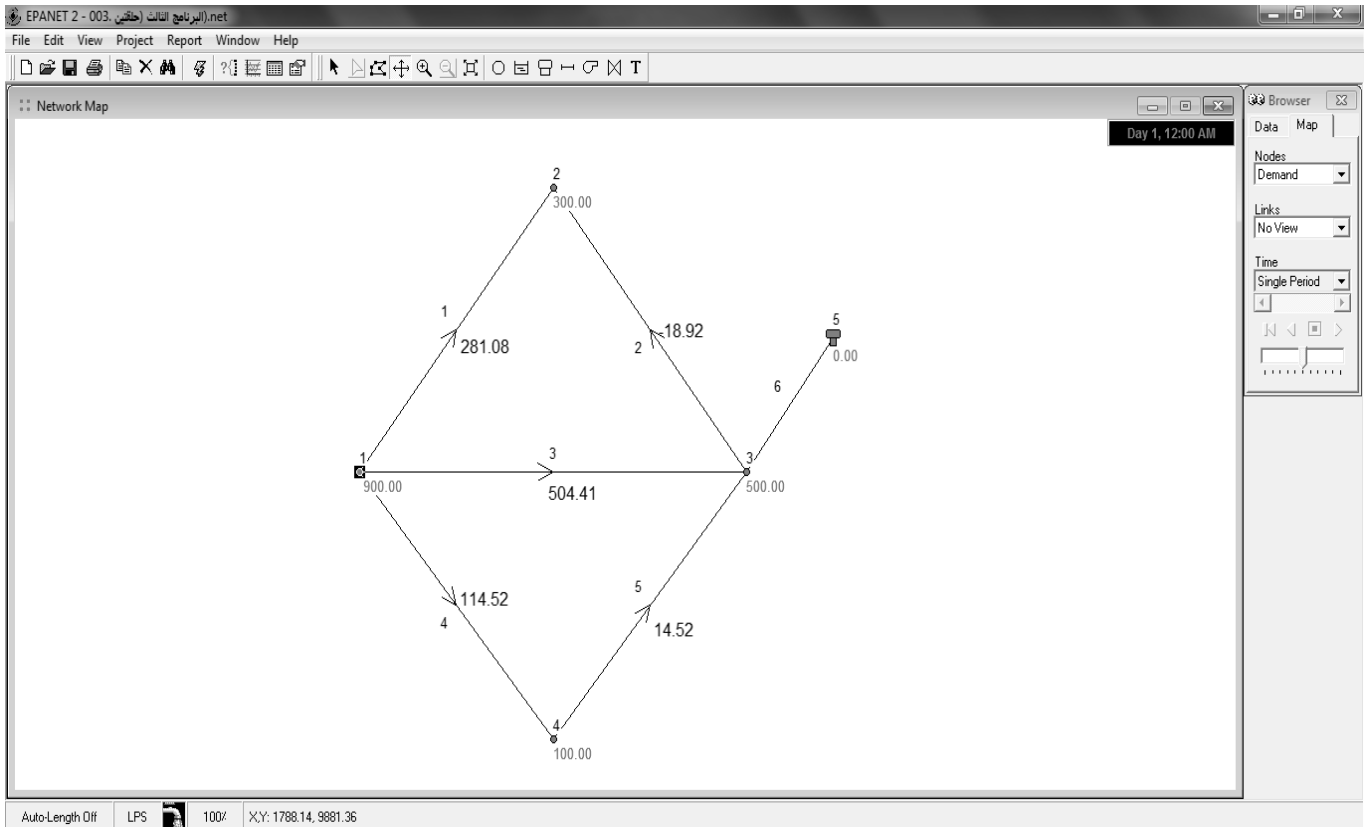


الشكل (4 - 17): شبكة مياه من حلقتين توضح التدفقات المصححة بالطريقة الخطية للمحاولة الرابعة.

3.2.4. استخدام برنامج EPANET:

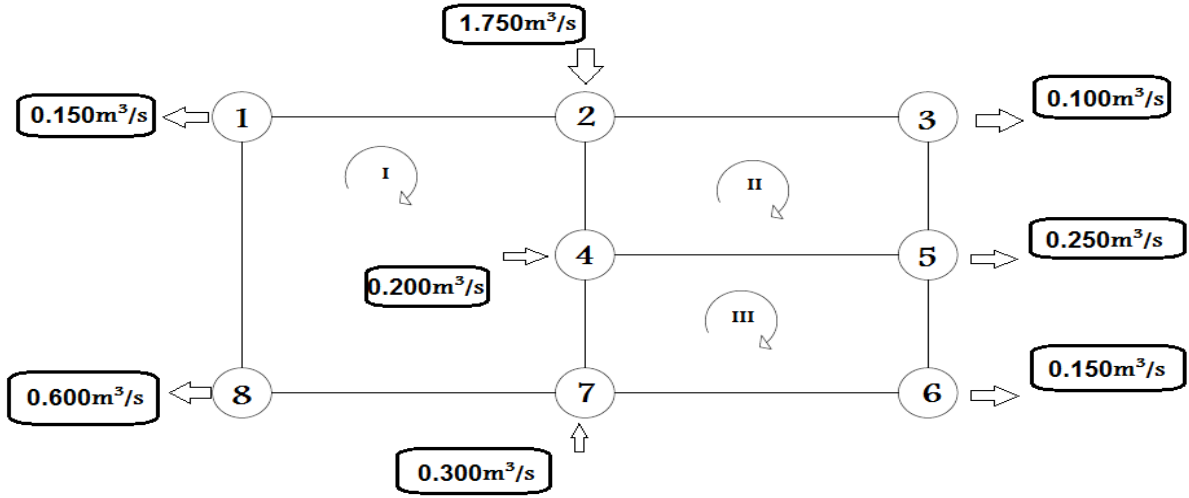
Link ID	Length m	Diameter mm	Flow LPS	Velocity m/s	Friction Factor
Pipe 1	3000	600	281.08	0.99	0.013
Pipe 2	2000	400	-18.92	0.15	0.020
Pipe 3	4000	800	504.41	1.00	0.013
Pipe 4	5000	500	114.52	0.58	0.015
Pipe 5	4500	300	14.52	0.21	0.020
Pipe 6	10000	1000	0.00	0.00	0.000

الشكل (4 - 18): جدول مدخلات ومخرجات جدول "EPANET" لشبكة من حلقتين.



الشكل (4 - 19): شبكة مياه من حلقتين توضح مخرجات التدفقات حسب برنامج "EPANET".

3.4. شبكات من ثلاث حلقات:

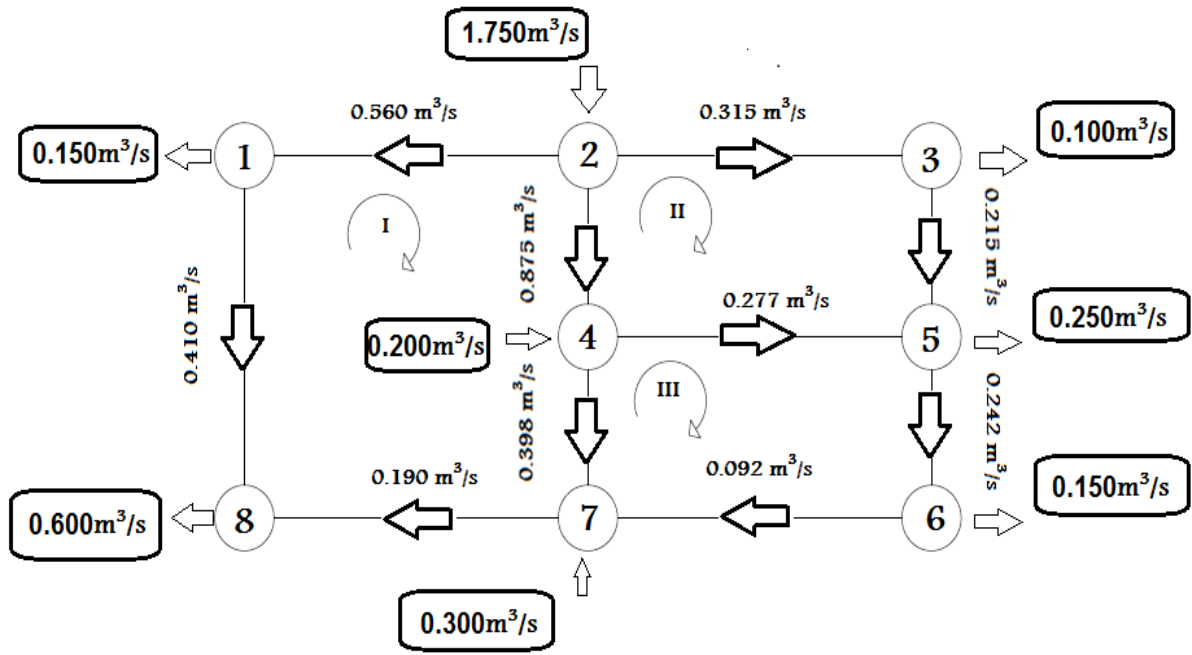


الشكل (4 - 20): شبكة مياه من ثلاث حلقات توضح التدفق الداخل والخارج من العقد.

$$K = \frac{8 f L}{\pi^2 g D^5} \quad "f = 0.026"$$

الجدول (4 - 15): بيانات الشبكة من ثلاث حلقات.

PIPE	D (mm)	L (m)	K
1 --- 2	800	2500	16.41
1 --- 8	600	2500	69.14
7 --- 8	350	3000	1228.33
2 --- 4	1000	1600	3.44
4 --- 7	600	1800	49.78
2 --- 3	600	2000	55.31
3 --- 5	500	1500	103.22
4 --- 5	500	2100	144.51
5 --- 6	450	1400	163.16
6 --- 7	400	2300	483.02



الشكل (4 - 21): شبكة مياه من ثلاث حلقات توضح توزيع التدفقات المفروض مبدئياً.

1.3.4. طريقة هاردي كروس:

$$\Delta Q = - \frac{\sum h_{fi}}{2 \sum \left| \frac{h_{fi}}{Q_i} \right|}$$

**CYCLE 1:**

LOOP 1:

الجدول (4 - 16): طريقة هاردي كروس للمحاولة الاولى للحلقة ا.

LOOP	PIPE	K	Q	KQ <sup>2</sup>	2KQ	ΔQ	Q
I	1 -- 2	16.41	-0.560	-5.15	18.39	-0.065	-0.495
	1 -- 8	69.14	-0.410	-11.62	56.68		-0.345
	7 -- 8	1228.33	+0.190	+44.34	466.7		+0.255
	2 -- 4	3.44	+0.875	+2.63	6.01		+0.940
	4 -- 7	49.78	+0.398	+7.88	39.60		+0.463
				Σ	+38.08		587.38

$$\Delta Q = \frac{-(+38.08)}{587.38} = -0.065$$

LOOP 2:

الجدول (4 - 17): طريقة هاردي كروس للمحاولة الاولى للحلقة ا.

LOOP	PIPE	K	Q	KQ <sup>2</sup>	2KQ	ΔQ	Q
II	2 - 4	3.44	-0.940	-3.04	6.47	+0.023	-0.917
	2 - 3	55.31	+0.315	+5.49	34.86		+0.338
	3 - 5	103.22	+0.215	+4.77	44.37		+0.238
	4 - 5	144.51	-0.277	-11.09	80.07		-0.254
				Σ	-3.87		165.77

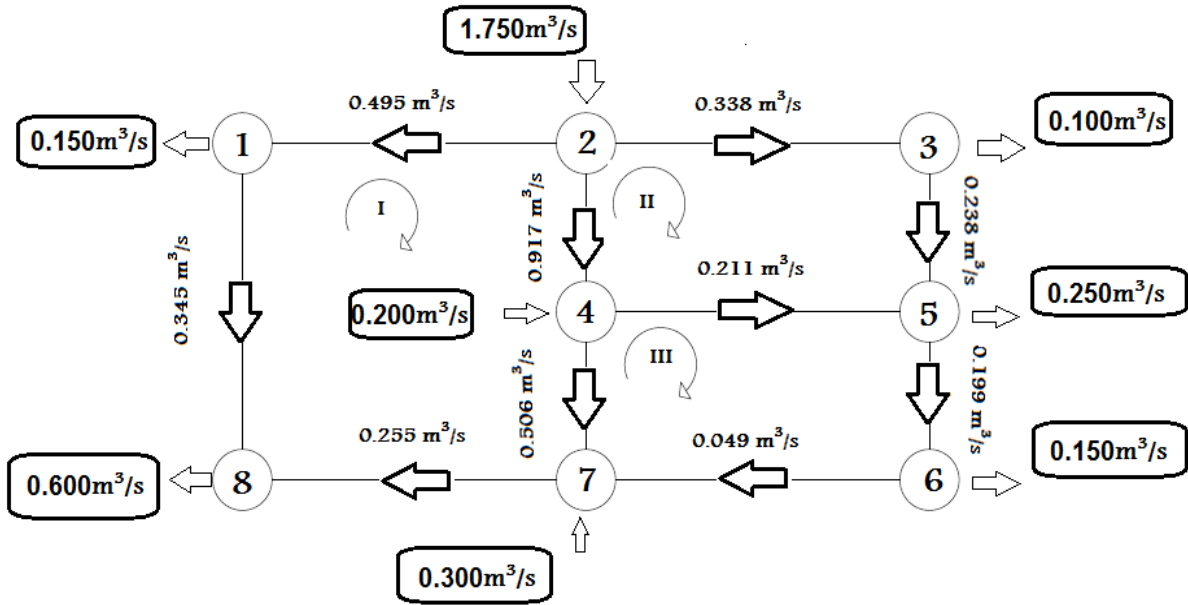
$$\Delta Q = \frac{-(-3.87)}{165.77} = +0.023$$

LOOP 3:

الجدول (4 - 18): طريقة هاردي كروس للمحاولة الاولى للحلقة III.

LOOP	PIPE	K	Q	KQ <sup>2</sup>	2KQ	ΔQ	Q
III	4 -- 7	49.78	-0.463	-10.67	46.09	-0.043	-0.506
	4 - 5	144.51	+0.254	+9.32	73.38		+0.211
	5 -- 6	163.16	+0.242	+9.55	78.92		+0.199
	6 - 7	483.02	+0.092	+4.09	88.91		+0.049
				Σ	+12.29		287.73

$$\Delta Q = \frac{-(+12.29)}{287.73} = -0.043$$



الشكل (4 - 22): شبكة مياه من ثلاث حلقات توضح التدفقات المصححة بطريقة هاردي كروس للمحاولة الاولى.

**:2CYCLE**



LOOP 1:

الجدول (4 - 19): طريقة هاردي كروس للمحاولة الثانية للحلقة ا.

LOOP	PIPE	K	Q	KQ <sup>2</sup>	2KQ	ΔQ	Q
I	1 -- 2	16.41	-0.495	-4.02	16.24	-0.111	-0.606
	1 -- 8	69.14	-0.345	-8.23	47.71		-0.456
	7 -- 8	1228.33	+0.255	+79.87	626.40		+0.144
	2 -- 4	3.44	+0.917	+2.89	6.31		+0.806
	4 -- 7	49.78	+0.506	+12.74	50.38		+0.395
				Σ	+83.25		747.04

$$\Delta Q = \frac{-(+83.25)}{747.04} = -0.111$$

LOOP 2:

الجدول (4 - 20): طريقة هاردي كروس للمحاولة الثانية للحلقة اا.

LOOP	PIPE	K	Q	KQ <sup>2</sup>	2KQ	ΔQ	Q
II	2 - 4	3.44	-0.806	-2.23	5.54	-0.023	-0.829
	2 - 3	55.31	+0.338	+6.32	37.38		+0.315
	3 - 5	103.22	+0.238	+5.85	49.13		+0.215
	4 - 5	144.51	-0.211	-6.43	60.98		-0.234
				Σ	+3.51		153.03

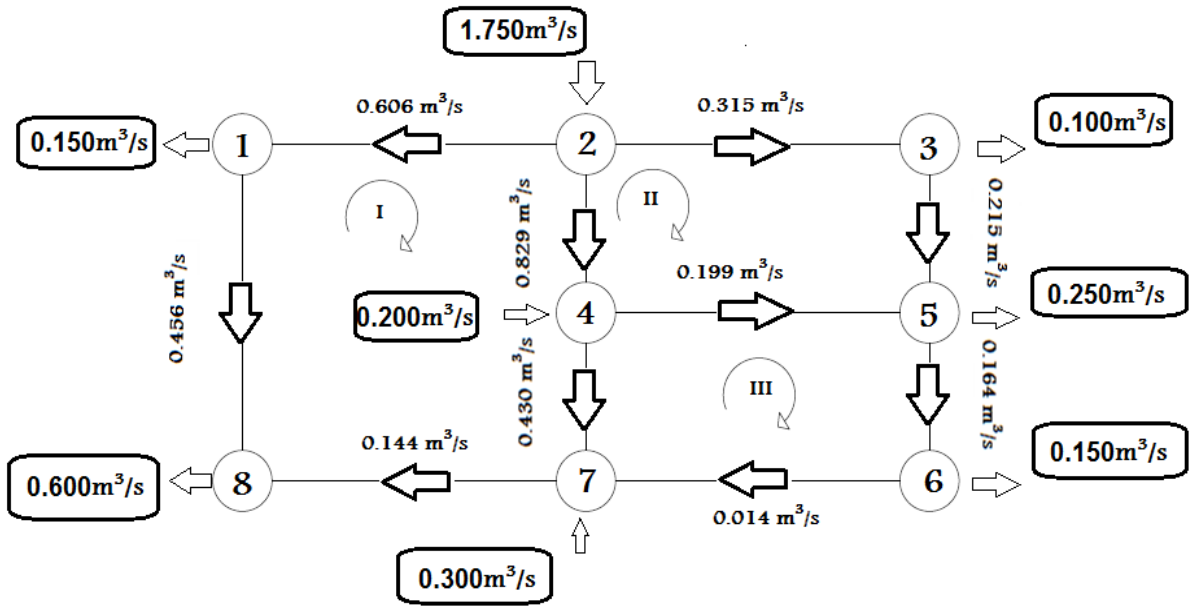
$$\Delta Q = \frac{-(+3.51)}{153.03} = -0.023$$

LOOP 3:

الجدول (4 - 21): طريقة هاردي كروس للمحاولة الثانية للحلقة III.

LOOP	PIPE	K	Q	$KQ^2$	$2KQ$	$\Delta Q$	Q
III	4 -- 7	49.78	-0.395	-7.77	39.33	-0.035	-0.430
	4 - 5	144.51	+0.234	+7.91	67.63		+0.199
	5 -- 6	163.16	+0.199	+6.46	64.94		+0.164
	6 - 7	483.02	+0.049	+1.16	47.33		+0.014
				$\Sigma$	+7.76		219.23

$$\Delta Q = \frac{-(+7.76)}{219.23} = -0.035$$



الشكل (4 - 23): شبكة مياه من ثلاث حلقات توضح التدفقات المصححة بطريقة هاردي كروس للمحاولة الثانية.

**:3CYCLE**

LOOP 1:

## مقارنة نظرية بين طرق تحليل شبكات المياه

الجدول (4 - 22): طريقة هاردي كروس للمحاولة الثالثة للحلقة ا.

LOOP	PIPE	K	Q	KQ <sup>2</sup>	2KQ	ΔQ	Q
I	1 -- 2	16.41	-0.606	-6.03	19.87	-0.034	-0.640
	1 -- 8	69.14	-0.456	-14.38	63.05		-0.490
	7 -- 8	1228.33	+0.144	+25.47	353.76		+0.110
	2 -- 4	3.44	+0.829	+2.36	5.70		+0.795
	4 -- 7	49.78	+0.430	+9.20	42.81		+0.396
				Σ	+16.62		485.19

$$\Delta Q = \frac{-(+16.62)}{485.19} = -0.034$$

LOOP 2:

الجدول (4 - 23): طريقة هاردي كروس للمحاولة الثالثة للحلقة اا.

LOOP	PIPE	K	Q	KQ <sup>2</sup>	2KQ	ΔQ	Q
II	2 - 4	3.44	-0.795	-2.17	5.46	-0.017	-0.812
	2 - 3	55.31	+0.315	+5.49	34.86		+0.298
	3 - 5	103.22	+0.215	+4.77	44.37		+0.198
	4 - 5	144.51	-0.199	-5.72	57.49		-0.216
				Σ	+2.37		142.18

$$\Delta Q = \frac{-(+2.37)}{142.18} = -0.017$$

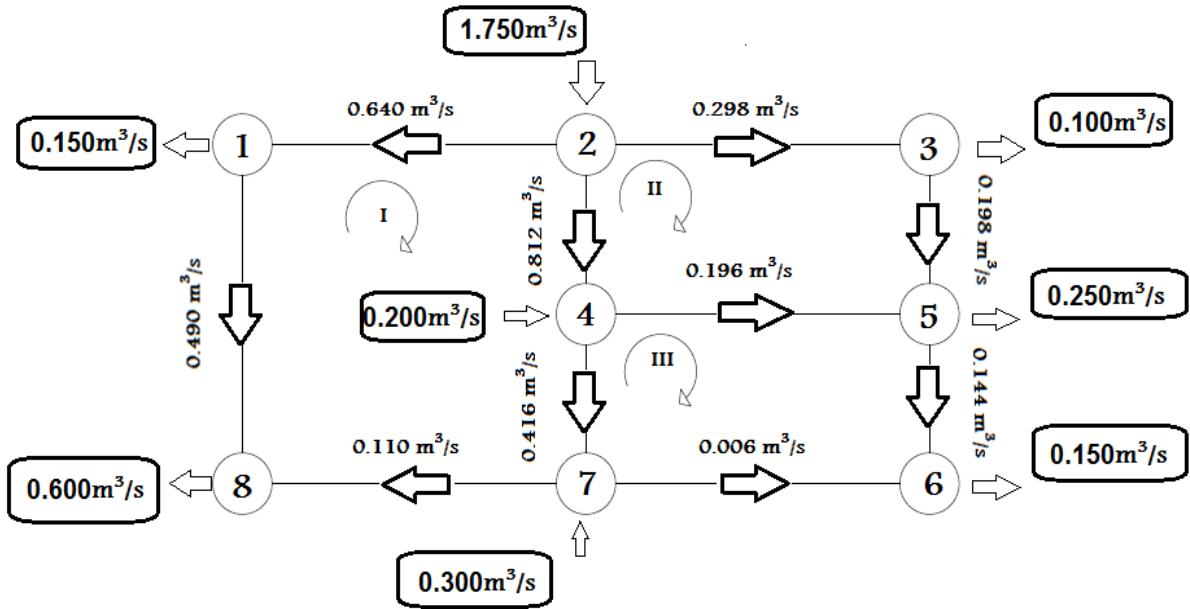
LOOP 3:

الجدول (4 - 24): طريقة هاردي كروس للمحاولة الثالثة للحلقة ااا.

مقارنة نظرية بين طرق تحليل شبكات المياه

LOOP	PIPE	K	Q	KQ <sup>2</sup>	2KQ	ΔQ	Q
III	4 -- 7	49.78	-0.396	-7.81	39.42	-0.020	-0.416
	4 - 5	144.51	+0.216	+6.74	62.43		+0.196
	5 -- 6	163.16	+0.164	+4.39	53.52		+0.144
	6 - 7	483.02	+0.014	+0.095	13.52		-0.006
				Σ	+3.415		168.89

$$\Delta Q = \frac{-(+3.415)}{168.89} = -0.020$$



الشكل (4 - 24): شبكة مياه من ثلاث حلقات توضح التدفقات المصححة بطريقة هاردي كروس للمحاولة الثالثة.

**:4CYCLE**

LOOP 1:

الجدول (4 - 25): طريقة هاردي كروس للمحاولة الرابعة للحلقة ا.

مقارنة نظرية بين طرق تحليل شبكات المياه

LOOP	PIPE	K	Q	KQ <sup>2</sup>	2KQ	ΔQ	Q
I	1 -- 2	16.41	-0.640	-6.72	21	-0.006	-0.646
	1 -- 8	69.14	-0.490	-16.60	67.75		-0.496
	7 -- 8	1228.33	+0.110	+14.86	270.18		+0.104
	2 -- 4	3.44	+0.812	+2.27	5.59		+0.806
	4 -- 7	49.78	+0.416	+8.61	41.39		+0.410
				Σ	+2.42		405.91

$$\Delta Q = \frac{-(+2.42)}{405.91} = -0.034$$

LOOP 2:

الجدول (4 - 26): طريقة هاردي كروس للمحاولة الرابعة للحلقة II.

LOOP	PIPE	K	Q	KQ <sup>2</sup>	2KQ	ΔQ	Q
II	2 - 4	3.44	-0.806	-2.23	5.54	-0.009	-0.815
	2 - 3	55.31	+0.298	+4.91	32.96		+0.289
	3 - 5	103.22	+0.198	+4.05	40.87		+0.189
	4 - 5	144.51	-0.196	-5.55	56.65		-0.205
				Σ	+1.18		136.02

$$\Delta Q = \frac{-(+1.18)}{136.02} = -0.009$$

LOOP 3:

الجدول (4 - 27): طريقة هاردي كروس للمحاولة الرابعة للحلقة III.

LOOP	PIPE	K	Q	$KQ^2$	$2KQ$	$\Delta Q$	Q
III	4 -- 7	49.78	-0.410	-8.37	40.82		-0.417
	4 -- 5	144.51	+0.205	+6.07	59.25		+0.198
	5 -- 6	163.16	+0.144	+3.38	46.99	-0.007	+0.137
	6 -- 7	483.02	+0.006	-0.017	5.80		-0.013
			$\Sigma$	+1.063	152.86		

$$\Delta Q = \frac{-(+1.063)}{152.86} = -0.007$$

$$Q_{1-2} = 0.646 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{1-8} = 0.496 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{7-8} = 0.104 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{2-4} = 0.815 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{4-7} = 0.417 \text{ m}^3/\text{s}$$

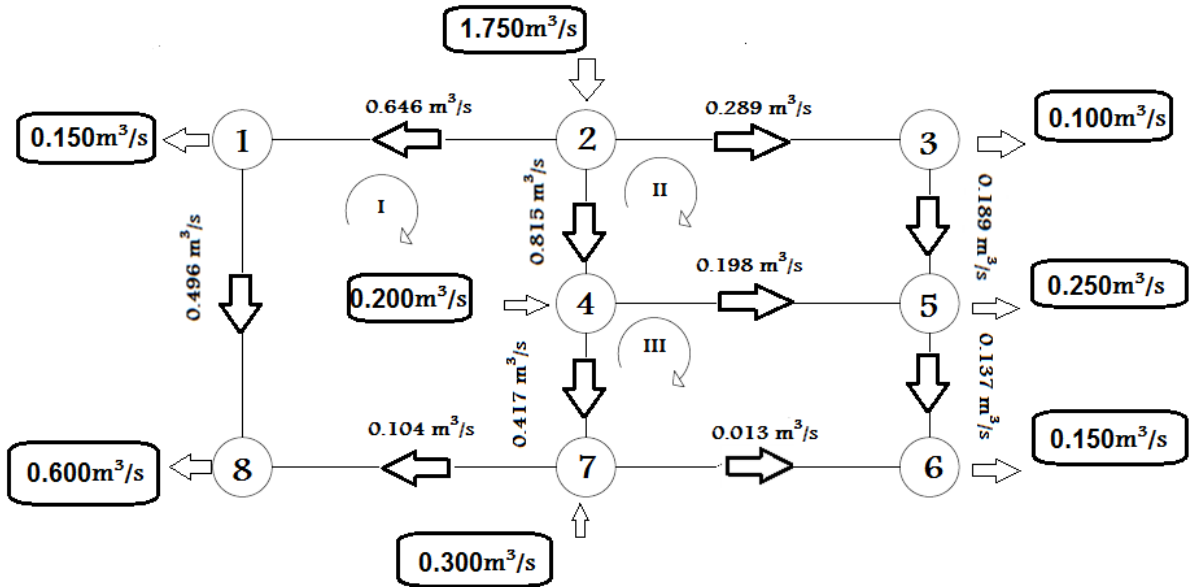
$$Q_{2-3} = 0.289 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{3-5} = 0.189 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{4-5} = 0.198 \text{ m}^3/\text{s}$$

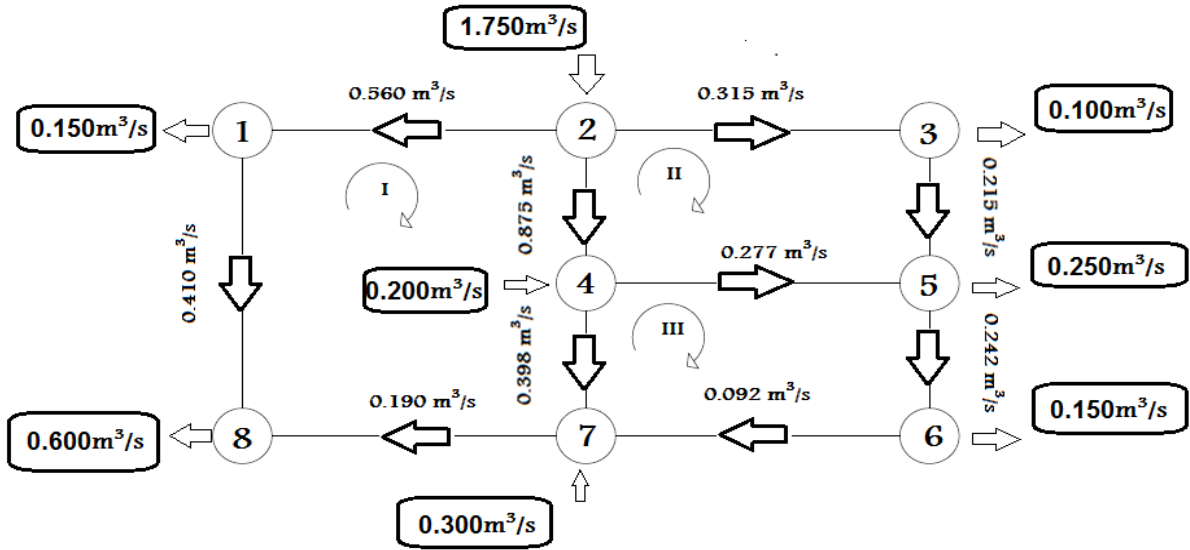
$$Q_{5-6} = 0.137 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{6-7} = 0.013 \text{ m}^3/\text{s}$$



الشكل (4 - 25): شبكة مياه من ثلاث حلقات توضح التدفقات المصححة بطريقة هاردي كروس للمحاولة الرابعة.

2.3.4. الطريقة الخطية:



الشكل (4 - 26): شبكة مياه من ثلاث حلقات توضح توزيع التدفقات المفروض مبدئياً.

- معادلات الاستمرارية:

$$Q_{1-2} + Q_{2-3} + Q_{2-4} = 1.750 \quad \dots(1)$$

$$Q_{1-2} + Q_{1-8} = 0.150 \quad \dots(2)$$

$$Q_{1-8} - Q_{7-8} = 0.600 \quad \dots(3)$$

$$Q_{4-7} - Q_{6-7} + Q_{7-8} = 0.300 \quad \dots(4)$$

$$Q_{5-6} - Q_{6-7} = 0.150 \quad \dots(5)$$

$$Q_{2-3} - Q_{3-5} = 0.100 \quad \dots(6)$$

$$Q_{4-5} - Q_{3-5} + Q_{5-6} = 0.250 \quad \dots(7)$$

- معادلات بقاء الطاقة:

$$\Sigma h_L = 0$$

$$-K_{1-2}Q_{1-2}|Q_{1-2}| - K_{1-8}Q_{1-8}|Q_{1-8}| + K_{7-8}Q_{7-8}|Q_{7-8}| + K_{2-4}Q_{2-4}|Q_{2-4}| + K_{4-7}Q_{4-7}|Q_{4-7}| = 0 \quad \dots(8)$$

$$K_{2-3}Q_{2-3}|Q_{2-3}| + K_{3-5}Q_{3-5}|Q_{3-5}| - K_{4-5}Q_{4-5}|Q_{4-5}| - K_{2-4}Q_{2-4}|Q_{2-4}| = 0 \quad \dots(9)$$

$$K_{4-5}Q_{4-5}|Q_{4-5}| + K_{5-6}Q_{5-6}|Q_{5-6}| + K_{6-7}Q_{6-7}|Q_{6-7}| - K_{4-7}Q_{4-7}|Q_{4-7}| = 0 \quad \dots(10)$$

### CYCLE 1:

$$-16.41 \times 0.560 \times Q_{1-2} - 69.14 \times 0.410 \times Q_{1-8} + 1228.3 \times 0.190 \times Q_{7-8} + 3.44 \times 0.875 \times Q_{2-4} + 49.78 \times 0.398 \times Q_{4-7} = 0$$

$$-9.19Q_{1-2} - 28.35Q_{1-8} + 233.38Q_{7-8} + 3.01Q_{2-4} + 19.81Q_{4-7} = 0 \quad \dots(8)$$

$$55.31 \times 0.315 \times Q_{2-3} + 103.22 \times 0.215 \times Q_{3-5} - 144.51 \times 0.277 \times Q_{4-5} - 3.44 \times 0.875 \times Q_{2-4} = 0$$

$$17.42Q_{2-3} + 22.19Q_{3-5} - 40.03Q_{4-5} - 3.01Q_{2-4} = 0 \quad \dots(9)$$

$$144.5 \times 0.277 \times Q_{4-5} + 163.16 \times 0.242 \times Q_{5-6} + 483.02 \times 0.092 \times Q_{6-7} - 49.78 \times 0.398 \times Q_{4-7} = 0$$



$$\dots(10) \quad 40.03Q_{4-5} + 39.48Q_{5-6} + 44.44Q_{6-7} - 19.81Q_{4-7} = 0$$

$$\begin{array}{ccccccccccc} 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ -9.19 & -28.35 & 3.01 & 19.81 & 233.38 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -3.01 & 0 & 0 & 17.42 & 22.19 & -40.03 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -19.81 & 0 & 0 & 0 & 40.03 & 39.48 & 44.44 & 0 \end{array}$$

$$\times \begin{array}{l} Q_{1-2} \\ Q_{1-8} \\ Q_{2-4} \\ Q_{4-7} \\ Q_{7-8} \\ Q_{2-3} \\ Q_{3-5} \\ Q_{4-5} \\ Q_{5-6} \\ Q_{6-7} \end{array} = \begin{array}{l} 1.75 \\ 0.150 \\ 0.600 \\ 0.300 \\ 0.150 \\ 0.100 \\ 0.250 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{array}$$

$$Q_{1-2}=0.626\text{m}^3/\text{s}$$

$$Q_{1-8}=0.476\text{m}^3/\text{s}$$

$$Q_{2-4}=0.820\text{m}^3/\text{s}$$

$$Q_{4-7}=0.406\text{m}^3/\text{s}$$

$$Q_{7-8}=0.124\text{m}^3/\text{s}$$

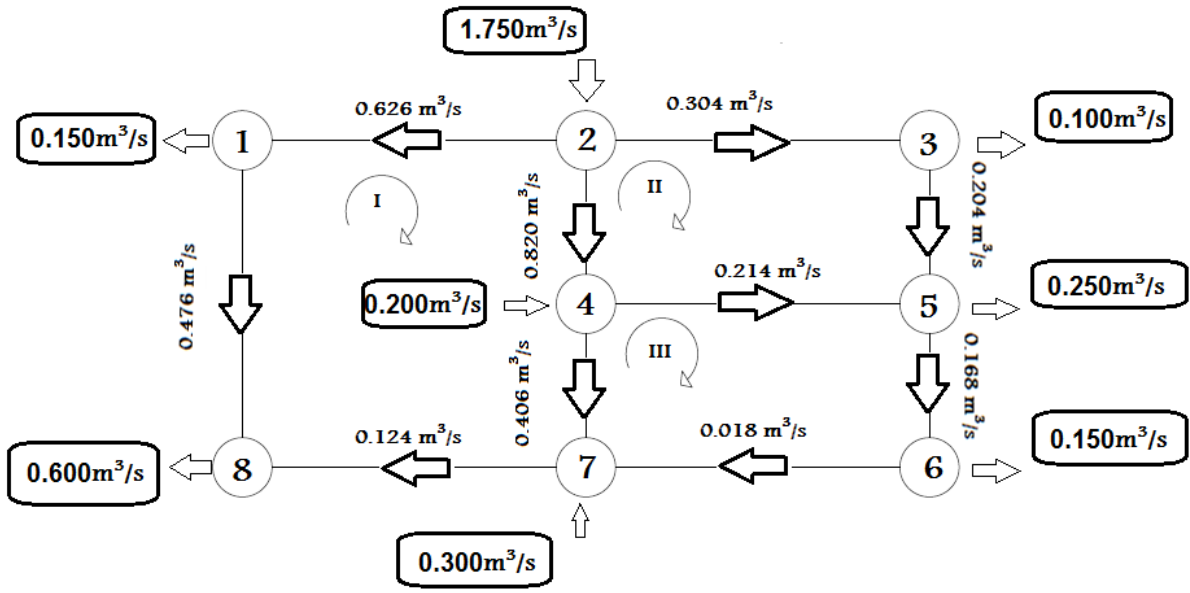
$$Q_{2-3}=0.304\text{m}^3/\text{s}$$

$$Q_{3-5}=0.204\text{m}^3/\text{s}$$

$$Q_{4-5}=0.214\text{m}^3/\text{s}$$

$$Q_{5-6}=0.168\text{m}^3/\text{s}$$

$$Q_{6-7}=-0.018\text{m}^3/\text{s}$$



الشكل (4 - 27): شبكة مياه من ثلاث حلقات توضح التدفقات المصححة بالطريقة الخطية للمحاولة الاولى.

**:2CYCLE**

$$\begin{aligned}
 & -16.41 \times 0.626 \times Q_{1-2} - 69.14 \times 0.476 \times Q_{1-8} + 1228.3 \times 0.124 \times Q_{7-8} + \\
 & \quad 3.44 \times 0.820 \times Q_{2-4} + 49.78 \times 0.406 \times Q_{4-7} = 0 \\
 & -10.27Q_{1-2} - 32.91Q_{1-8} + 152.31Q_{7-8} + 2.82Q_{2-4} + 20.21Q_{4-7} = 0 \\
 & \dots(8)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & 55.31 \times 0.304 \times Q_{2-3} + 103.22 \times 0.204 \times Q_{3-5} - 144.51 \times 0.214 \times Q_{4-5} - \\
 & \quad 3.44 \times 0.820 \times Q_{2-4} = 0 \\
 & 16.81Q_{2-3} + 21.06Q_{3-5} - 30.92Q_{4-5} - 2.82Q_{2-4} = 0 \quad \dots(9)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & 144.5 \times 0.214 \times Q_{4-5} + 163.16 \times 0.168 \times Q_{5-6} + 483.02 \times 0.018 \times Q_{6-7} - \\
 & \quad 49.78 \times 0.406 \times Q_{4-7} = 0
 \end{aligned}$$

$$\dots(10) \quad 30.92Q_{4-5} + 27.41Q_{5-6} + 8.69Q_{6-7} - 20.21Q_{4-7} = 0$$

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & -1 & 0 \\ -10.27 & -32.91 & 2.82 & 20.21 & 152.31 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -2.82 & 0 & 0 & 16.81 & 21.06 & -30.92 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -20.21 & 0 & 0 & 0 & 30.92 & 27.41 & 8.69 \end{pmatrix} \times$$

$$\begin{pmatrix} Q_{1-2} \\ Q_{1-8} \\ Q_{2-4} \\ Q_{4-7} \\ Q_{7-8} \\ Q_{2-3} \\ Q_{3-5} \\ Q_{4-5} \\ Q_{5-6} \\ Q_{6-7} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1.75 \\ 0.150 \\ 0.600 \\ 0.300 \\ 0.150 \\ 0.100 \\ 0.250 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$m^3/s45Q_{1-2}=0.6$$

$$5m^3/s49Q_{1-8}=0.$$

$$m^3/s7Q_{2-4}=0.81$$

$$m^3/s15Q_{4-7}=0.4$$

$$m^3/s105Q_{7-8}=0.$$

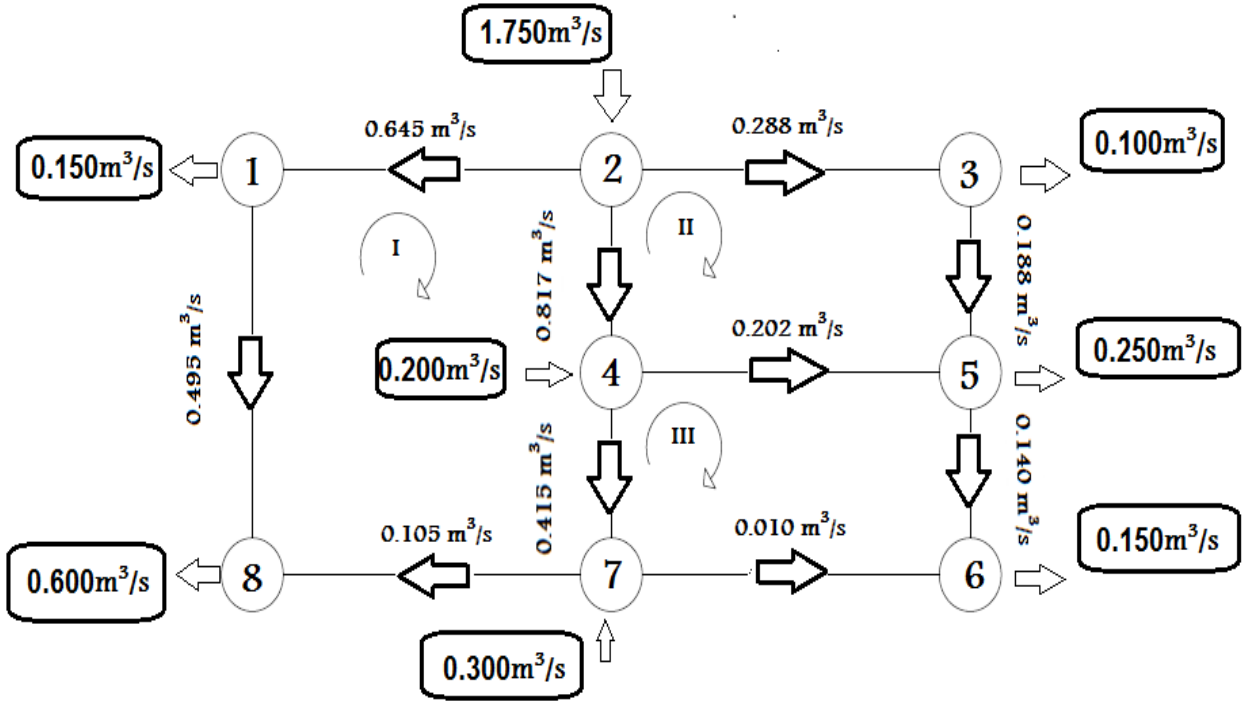
$$m^3/s88Q_{2-3}=0.2$$

$$m^3/s88Q_{3-5}=0.1$$

$$m^3/s202Q_{4-5}=0.$$

$$m^3/s40Q_{5-6}=0.1$$

$$m^3/s10Q_{6-7}=-0.0$$



الشكل (4 - 28): شبكة مياه من ثلاث حلقات توضح التدفقات المصححة بالطريقة الخطية للمحاولة الثانية.

**CYCLE 3:**

$$\begin{aligned}
 & -16.41 \times 0.645 \times Q_{1-2} - 69.14 \times 0.495 \times Q_{1-8} + 1228.3 \times 0.105 \times Q_{7-8} + \\
 & \quad 3.44 \times 0.817 \times Q_{2-4} + 49.78 \times 0.415 \times Q_{4-7} = 0 \\
 & -10.58Q_{1-2} - 34.22Q_{1-8} + 128.97Q_{7-8} + 2.81Q_{2-4} + 20.66Q_{4-7} = 0 \\
 & \dots(8)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & 55.31 \times 0.288 \times Q_{2-3} + 103.22 \times 0.188 \times Q_{3-5} - 144.51 \times 0.202 \times Q_{4-5} - \\
 & \quad 3.44 \times 0.817 \times Q_{2-4} = 0 \\
 & 15.93Q_{2-3} + 19.40Q_{3-5} - 29.19Q_{4-5} - 2.81Q_{2-4} = 0 \quad \dots(9)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & 144.5 \times 0.202 \times Q_{4-5} + 163.16 \times 0.140 \times Q_{5-6} + 483.02 \times 0.010 \times Q_{6-7} - \\
 & \quad 49.78 \times 0.415 \times Q_{4-7} = 0
 \end{aligned}$$

$$\dots(10) \quad 29.19Q_{4-5} + 22.84Q_{5-6} + 4.83Q_{6-7} - 20.66Q_{4-7} = 0$$

$$\begin{vmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & -1 & 0 \\ -10.58 & -34.22 & 2.81 & 20.66 & 128.97 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -2.81 & 0 & 0 & 15.93 & 19.4 & -29.19 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -20.66 & 0 & 0 & 0 & 29.19 & 22.84 & -4.83 \end{vmatrix} \times$$

$$\begin{vmatrix} Q_{1-2} \\ Q_{1-8} \\ Q_{2-4} \\ Q_{4-7} \\ Q_{7-8} \\ Q_{2-3} \\ Q_{3-5} \\ Q_{4-5} \\ Q_{5-6} \\ Q_{6-7} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1.75 \\ 0.150 \\ 0.600 \\ 0.300 \\ 0.150 \\ 0.100 \\ 0.250 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix}$$

$$m^3/s7Q_{1-2}=0.64$$

$$m^3/s7Q_{1-8}=0.49$$

$$Q_{7-8}=0.103m^3/s$$

$$Q_{2-4}=0.817m^3/s$$

$$Q_{4-7}=0.417m^3/s$$

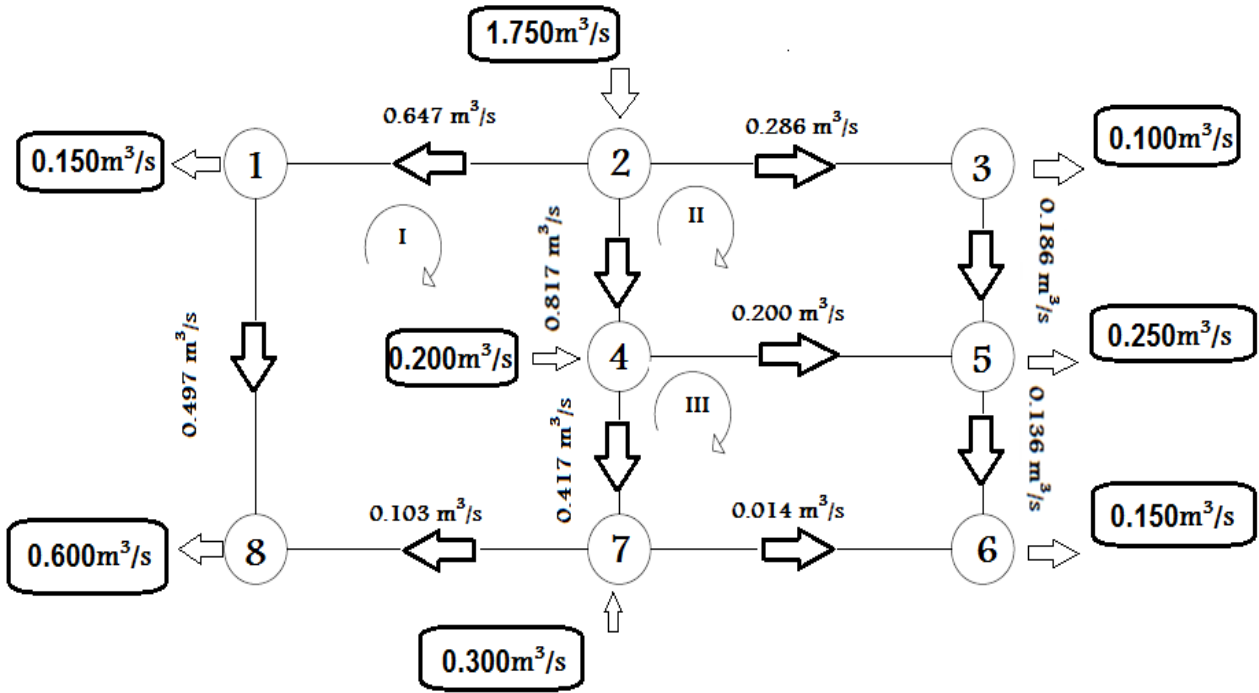
$$Q_{2-3}=0.286m^3/s$$

$$Q_{3-5}=0.186m^3/s$$

$$Q_{4-5}=0.200m^3/s$$

$$Q_{5-6}=0.136m^3/s$$

$$Q_{6-7}=0.014m^3/s$$



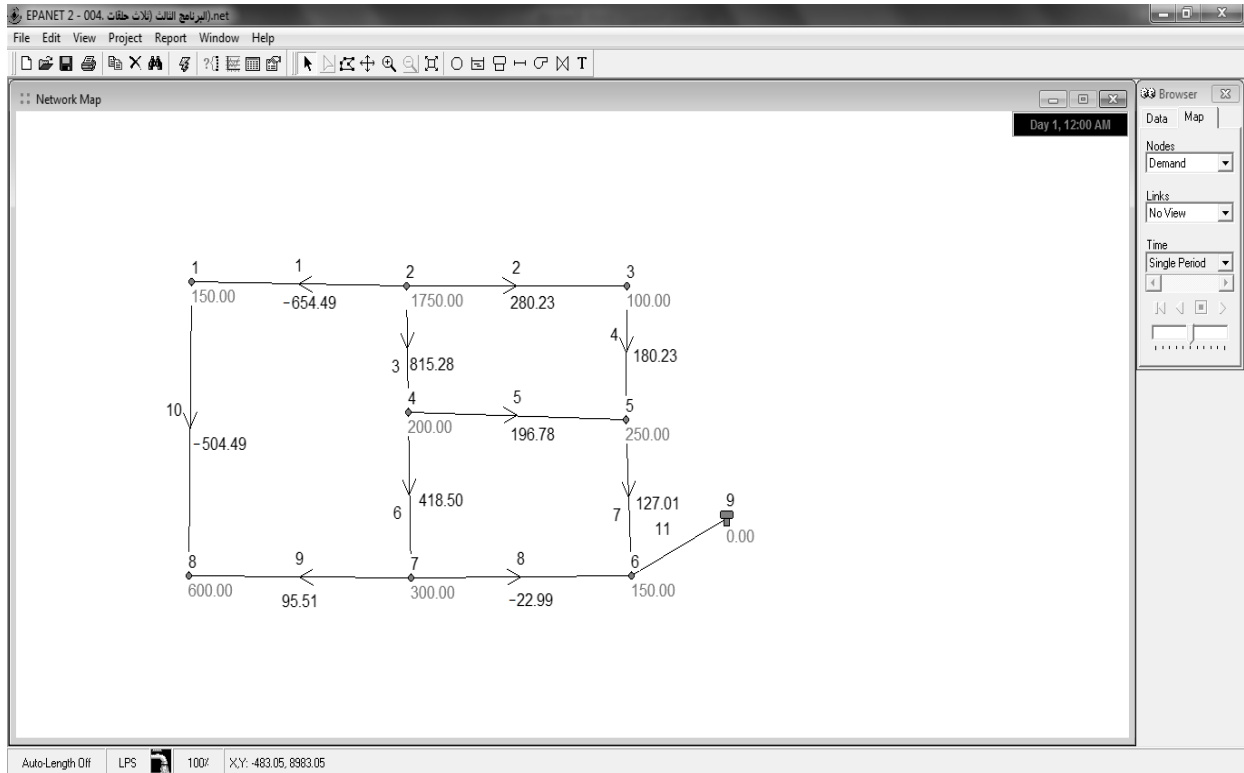
الشكل (4 - 29): شبكة مياه من ثلاث حلقات توضح التدفقات المصححة بالطريقة الخطية للمحاولة الثالثة.

### 3.3.4. استخدام برنامج EPANET:

Link ID	Length m	Diameter mm	Flow LPS	Velocity m/s	Friction Factor
Pipe 1	2500	800	-654.49	1.30	0.012
Pipe 2	2000	600	280.23	0.99	0.013
Pipe 3	1600	1000	815.28	1.04	0.012
Pipe 4	1500	500	180.23	0.92	0.014
Pipe 5	2100	500	196.78	1.00	0.014
Pipe 6	1800	600	418.50	1.48	0.013
Pipe 7	1400	450	127.01	0.80	0.015
Pipe 8	2300	400	-22.99	0.18	0.020
Pipe 9	3000	350	95.51	0.99	0.015
Pipe 10	2500	600	-504.49	1.78	0.012
Pipe 11	1000	10000	0.00	0.00	0.000

الشكل (4 - 30): جدول مدخلات ومخرجات برنامج EPANET لشبكة من ثلاث حلقات.

## مقارنة نظرية بين طرق تحليل شبكات المياه



الشكل (4 - 31): شبكة مياه من ثلاث حلقات توضح مخرجات التدفقات حسب برنامج EPANET.

## الفصل الخامس

### النتائج

1.5. نتائج الشبكة ذات الحلقة الواحدة.

2.5. نتائج الشبكة ذات الحلقتين.

3.5. نتائج الشبكة ذات الثلاث حلقات.



5. النتائج:

1.5. نتائج شبكات من حلقة واحدة:

الجدول (5 - 1): نتائج التدفقات لشبكة من حلقة واحدة.

METHOD	CYCLE	$Q_{1-2}$ (m <sup>3</sup> /s)	$Q_{2-3}$ (m <sup>3</sup> /s)	$Q_{1-3}$ (m <sup>3</sup> /s)
HARDY CROSS	4	0.380	0.020	0.520
LINEAR	4	0.380	0.020	0.520
EPANET	5	0.382	0.018	0.518

2.5. نتائج شبكات من حلقتين:

الجدول (5 - 2): نتائج التدفقات لشبكة من حلقتين.

METHOD	CYCLE	$Q_{1-2}$ (m <sup>3</sup> /s)	$Q_{2-3}$ (m <sup>3</sup> /s)	$Q_{1-3}$ (m <sup>3</sup> /s)	$Q_{1-4}$ (m <sup>3</sup> /s)	$Q_{3-4}$ (m <sup>3</sup> /s)
HARDY CROSS	4	0.283	0.017	0.497	0.120	0.020
LINEAR	4	0.283	0.017	0.497	0.120	0.020
EPANET	4	0.281	0.019	0.504	0.115	0.015

3.5. نتائج شبكات من ثلاث حلقات:

الجدول (5 - 3): نتائج التدفقات لشبكة من ثلاث حلقات.

METHOD	CYCL E	Q <sub>1-2</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>1-8</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>7-8</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>2-4</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>4-7</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>2-3</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>3-5</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>4-5</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>5-6</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>6-7</sub> (m <sup>3</sup> /s)
HARDY CROSS	4	0.646	0.496	0.104	0.815	0.417	0.289	0.189	0.198	0.137	0.013
LINEAR	3	0.647	0.497	0.103	0.817	0.417	0.286	0.186	0.200	0.136	0.014
EPANET	4	0.654	0.504	0.096	0.815	0.419	0.280	0.180	0.197	0.127	0.023

## الفصل السادس

1.6 . مناقشة النتائج

2.6 . التوصيات

## 1.6. مناقشة النتائج:

تم تحليل الشبكات ومقارنة النتائج حسب معادلة دارسي وايزياخ "n=2" وتم أخذ معامل الاحتكاك كمتوسط "f=0.026" وذلك لتسهيل الحسابات، وأخذنا ثلاث شبكات مختلفة من حيث عدد الحلقات وخواص الأنابيب ومعدل التدفقات الداخلة والخارجة عند كل عقدة لطريقة هاردي كروس والطريقة الخطية ومقارنتها مع برنامج "EPANET".

كانت النتائج متقاربة بين طريقة هاردي كروس والطريقة الخطية ونتائج برنامج EPANET ومن ذلك نستنتج أن نسبة الخطأ للبرنامج بسيطة جداً لذا يمكن استخدام البرنامج بشكل واسع في هذا المجال.

## 2.6. التوصيات:

1. تستخدم طريقة هاردي كروس عند عدم وجود آلة حاسبة تقوم بحل المصفوفات أو جهاز كمبيوتر.
2. تستخدم الطريقة الخطية عند وجود آلة حاسبة تقوم بحل المصفوفات وتؤكد من نتائج برامج الكمبيوتر لأنها سريعة الوصول للحل.
3. يوجد العديد من البرامج المستخدمة في تحليل شبكات المياه، يجب الاطلاع عليها واختيار الانسب للاستخدام.
4. نوصي بتكرار هذا البحث بطرق التحليل الأخرى واستخدام برنامج آخر من البرامج المتخصصة في هذا المجال.

5. تكرار هذا البحث على شبكة واقعية (منفذة على أرض الواقع) للتأكيد على النتائج المتحصل

عليها.

# مناقشة الأبحاث

المراجع:

1. C. NALLYRI & R.E. FEATHERSTONE, "CIVIL ENGINEERING HYDRAULICS", FOURTH EDITION 2001.
2. Mark J.Hammer (Lincoln , Nebraska) , Warren Viessman (University of Florida) , Water Supply and pollution fifth Edition, Copyright 1993 by Harper Collins college publishers .
3. د. علي نزار سبتي، د. عدنان جاسم علاوي، أساسيات ميكانيك الموائع، الطبعة الأولى
4. 1997 ف، طرابلس.
5. روبرت ل. دوجرتي، جوزيف ب. فرانزيني، ترجمة: د. قدام شاكرك قدام، ميكانيكا الموائع
6. وتطبيقاتها الهندسية، الطبعة الثالثة، 2001 ف.
7. د. الهاشمي عبد الله الشندولي، أ. زهراء رجاء رسول العزاوي، طرق رياضية لتحليل شبكات المياه، مجلة السائل، كلية الهندسة، جامعة مصراتة.
8. دورة مراجعة تصميم شبكات المياه والصرف الصحي، برنامج ادارة مياه الشرب والصرف الصحي، أبريل 2008، الوكالة الألمانية للتعاون الفني.
9. الموقع الالكتروني، ويكيبيديا الموسوعة الحرة: