

## دراسة تأثير تغيير بارامترات الخوارزمية الجينية الفوضوية على الحلول الأمثلية في تصميم شبكات مياه الشرب

\* \* م. ابراهيم عبد الجليل

\* د. م. أمجد شاكر

(الإيداع: 20 أيلول 2017، القبول: 20 تشرين الثاني 2017)

### الملخص:

يتضمن هذا البحث اجراء دراسة تحليلية لتأثير تغيير بارامترات الخوارزمية الجينية الفوضوية MGA، على نتائجها في اختيار الحل الأمثل لتصميم شبكة مياه شرب، ومن ثم مقارنة الحل الأمثل الذي وصلنا إليه مع عدد من نتائج الأبحاث العلمية لعدد من العلماء، حيث تبين أن لتغيير قيم البارامترات أثر كبير على الحل الأمثل الذي تصل اليه الخوارزمية وكذلك تبين أن الخوارزمية الجينية الفوضوية أفضل من مثيلتها البسيطة SGA، من حيث المقدرة على الو. صول لحل أقل تكلفة ويحقق الشروط الهيدروليكية، وذلك بعد المقارنة مع عدد من الدراسات المرجعية التي تمت على نفس الحالة الدراسية.

الكلمات المفتاحية: خوارزمية جينية فوضوية، حل أمثلي، شبكة مياه شرب، Water GEMS، تابع الهدف للكلفة.

\* سوريا حماة، جامعة حماة كلية الهندسة المدنية.

\* \* سوريا حمص، المؤسسة العامة للمياه.

## **Studying the effect of changing the parameters of Messy Genetic Algorithm on the Optimum Solutions in the design of Drinking Water Network**

**\*Dr. Amjad Shaker**

**Eng. Ibrahim Abd aljlel**

**(Received: 20 September 2017, Accepted: 30 November 2017)**

### **Abstract:**

This study includes an analytical study of the effect of altering the parameters of the Messy Genetic Algorithm on its results in selecting the optimal solution for the design of a drinking water network and then comparing the obtained optimal solution with a number of scientific research results from the literature for a number of scientists. It has been found that the Messy Genetic Algorithm is better than the simple Genetic Algorithm, in terms of the ability to reach a less expensive solution and meet the hydraulic requirements, after comparing with a number of reference studies that were carried out in a similar way.

**Key word:** Messy Genetic Algorithm ، Optimum Solution ، Drinking Water Network ، water GEMS، Cost objective function

**1- مقدمة عن الطرق المستخدمة لتصميم واختيار أقطار شبكة مياه الشرب:**

قبل البدء بإعتماد طرق الوصول للحلول الأمثلية كان تصميم شبكة المياه يعتمد على مبدأ التجريب والخطأ trial and error، للوصول لحل مقبول هيدروليكيًا، ويعتبر اختيار أقطار الأنابيب اللازمة لتصميم شبكة المياه موضوع معقد ويعتمد على خبرة المهندس، فمثلاً إذا كان لدينا 7 أقطار متوفرة تجارياً، وأردنا تصميم شبكة مؤلفة من 26 أنبوب وبالتالي يوجد  $7^{26}$  حل ممكن لهذه الشبكة، وكل حل يجب مناقشة أدائه هيدروليكيًا، وتكلفته الاقتصادية ومدى موثوقيته {4}.

**2- مواد وطرق البحث:**

تم الاعتماد على نموذج رياضي جاهز Water GEMS. ودراسة التأثير الذي يقع على الحلول الأمثلية الناتجة باستخدام الخوارزميات الجينية الفوضوية Messy Genetic Algorithms - برنامج الخوارزمية (Darwin Designer) هو من إنتاج شركة Bentley عام 2003م، وتم دمجه داخل برنامج Water GEMS إصداره عام 2013م، ثم إعادة تصميم شبكة مياه مدينة هانوي Hanoi في دولة فيتنام Vitnam، للتحقق من صحة النتائج التي توصلنا لها. وتم استخدام جهاز كمبيوتر بمعالج Cori7 لتكون عملية الحساب سريعة لم تتجاوز 30 دقيقة لشبكة Hanoi.

**3- ميزات الخوارزميات الجينية الفوضوية: Messy Genetic Algorithms**

على غرار الخوارزميات الجينية البسيطة SGA، فإن طريقة عمل خوارزميات الجينية الفوضوية MGA تشبه خطوات عمل الخوارزمية الجينية البسيطة، ولكن تختلف عنها فيما يخص طول سلاسل الحلول string length (الكروموزومات). فهي غير ثابتة الطول، وكذلك مفهوم الأجيال فهو يتعدى ليصبح لدينا عدد من العصور Era Number، وكل عصر Era يحوي عدد من الأجيال Era Generation {9}.

وتستخدم هذه الخوارزمية لحل المشاكل الصعبة، فهي أكثر كفاءة وفعالية، وتعمل بنظام مرن لتمثيل وحل مشكلة تتراوح الكروموزومات، حيث هنا طول الكروموزومات (سلاسل الحلول) التي تتألف من جينات مختلفة من سلسلة لأخرى، حيث يقوم البرنامج بإنشاء سلاسل قصيرة هي حلول جزئية للمشكلة المدروسة، وتقييمها (حساب لياقتها) في مرحلة مبكرة من مراحل عمليات الخوارزميات الجينية، والحفاظ على الجينات (البنات) التي تحقق معدل لياقة أعلى من المتوسط، هذه الطريقة تسمى عملية بناء البنات building bloaks، ثم تبدأ الخوارزمية بعملها الطبيعي بالانتقال من جيل لأخر ضمن العصر الأول، وفي كل جيل يزداد طول السلاسل حتى الوصول للطول الكامل لسلاسل الحلول (الكروموزومات) {8}. حيث يبدأ العمل بتوليد حلول (كروموزومات) طولها كامل، وبعد عملية انتقاء الكروموزومات المرشحة للتزاوج selection يتم قص أجزاء منها، وتلصق مكانها السلاسل القصيرة الجزئية، وتسمى هذه العملية بعملية القص والوصل cut and splice، هذه العملية تحل مكان عملية التقاطع cross over، حيث أن عملية القص cut تعمل على تحويل السلسلة الواحدة لسلسلتين جزئيتين ثم يتم معايرة السلاسل (الحلول) الجزئية، واختيار الأفضل من بينها بعملية الفلترة filtering والحفاظ عليها ليتم ادخالها في السلاسل المؤهلة للتزاوج {8}.

**4- استخدام الخوارزميات الجينية في مجال المياه:**

بداية استخدام الخوارزميات التطورية وخصيصاً منها الجينية Genetic Algorithms في مجال شبكات المياه بشكل صريح كان عام 1992م، على يد العالم Simpson، في بداية عمله حاول عمل سلاسل للحلول بطريقة العد الثنائي. لتفسير متغيرين 1- الأنابيب الجديدة 2- الأنابيب التي سيتم إعادة تأهيلها (غسيل، إعادة تموضع). وتم اعتماد مبدأ دولايب الحظ roulette wheel selection، لانتقاء الحلول التي ستتولد منها الأجيال التالية، ونقطة تقاطع واحدة لعملية التقاطع cross over، وحصول طفرة عن طريق تبديل أحد البنات من 1 إلى 0 أو بالعكس، وكان تابع الهدف هو الوصول لتكلفة

أصغرية للمشروع، وتم اختيار الحل الذي يحقق كل القيود، وبتكلفة أصغرية وعلى ثلاث حالات من الأحمال المائية للشبكة (ثلاث قيم للاستهلاك). واستمر البحث لمدة عامين من 1992م حتى 1994م، استطاع العالمان في النهاية اكتشاف أن لبارامترات الخوارزمية الجينية تأثير كبير جداً على نتائجها فيما يخص شبكات مياه الشرب، ولكن كان ينقصهما الربط بين برنامج الخوارزمية، ونموذج المحاكاة الحامل لقوانين الحل الهيدروليكي {2}.

وتم تطوير هذه الآلية على يد كل من العلماء Simpson, Zheng عام 1996م و Walter , Savic عام 1997م . وفي عام 1989م، اقترح العالم Goldberg خوارزمية تطويرية جديدة سماها الخوارزمية الجينية الفوضوية Messy Genetic Algorithm، استخدم فيها سلاسل بأطوال متغيرة ليس فقط من جيل لآخر، بل ضمن تجمع الحلول الواحد بنفس الجيل. واستطاع العالمان Zheng, Simpson اثبات فعالية هذه الخوارزمية في الوصول لأكبر فائدة ممكنة Maximum benefit، بعد دراسة استمرت لعامين (1996-1997) م، حيث تم اثبات أن هذه الخوارزمية (الجينية الفوضوية MGA) أكثر فعالية من الخوارزمية الجينية البسيطة Simple GA في مجال شبكات المياه.

ولكن التقدم الأكبر والنقلة النوعية كانت على يد العالمين Simpson , Zheng ، اللذان قاما بربط برنامج حل الخوارزمية الجينية البسيطة Simple GA ، ببرنامج الحساب الهيدروليكي EPAnet بعام 2000م بمساعدة العالم Rossman {6} حيث أصبح برنامج الحل الهيدروليكي يقوم بحساب البارامترات الهيدروليكية لكل حل مرشح له من قبل الخوارزمية الجينية ، وإرسال النتائج لبرنامج الخوارزمية ، ومقارنته مع معادلات القيود التي تحدد افضلية ولياقة حل عن الآخر {3} .

#### 5- دالة الكلفة (تابع الهدف للكلفة): cost objective function

الكلفة الكلية لأي مشروع تصميم وإعادة تأهيل شبكة مياه تساوي مجموع تكلفة كل المعدات التي سيتم تصميمها (اختيارها وشراؤها)، وكذلك إعادة تأهيلها من مضخات وأنباب وصمامات وخزانات {7}:

1-  $C_k(d_k)$ : تكلفة واحدة الطول للأنبوب ذو القطر k المختار من مجموعة الانابيب التجارية  $D_m^0$  من مجموعات الأنابيب المتوفرة DC .

2-  $C_k(t_k)$ : تكلفة انشاء خزان  $T_m^0$  بحجم k من مجموعة الأحجام المتوفرة TC .

3-  $C_k(P_k)$ : تكلفة شراء وتشغيل المضخة  $P_m^0$  ذات المواصفة k من مجموعة المضخات المتوفرة PC .

4-  $C_k(V_k)$ : تكلفة صمام تنظيم الضغط k من مجموعة الصمامات المتوفرة VC .

5-  $C_k(e_k d_k)$ : تكلفة إعادة تأهيل المتر الطولي للأنبوب ذو القطر k بالطريقة  $E_m^0$  من أحد طرق التأهيل المتوفرة EC .

بالتالي تابع حساب التكلفة الصغرى أصبح من الشكل:

$$C(\vec{D}\vec{E}\vec{P}) = \sum_{k=1}^{DPP} c_k(d_k)L_k + \sum_{k=1}^{RPP} c_k(d_k, e_k)L_k + \sum_{k=1}^{DPM} c_k(P_k) \quad (8)$$

$L_k$ : طول الأنبوب k.

$\vec{D}$ : المتغير المحدد لقطر الأنابيب.

$\vec{E}$ : المتغير المحدد لشكل عملية إعادة التأهيل.

$\vec{P}$ : المتغير المحدد لمواصفات المضخة.

يتم اختيار  $\vec{D}, \vec{E}, \vec{P}$  من القيم المتوفرة في جداول الأقطار والمضخات وطرق الصيانة .

$$\forall k, \forall d_k \in [D_m^0, m = 1, \dots, DC] \dots \dots \dots (1)$$

$$\forall k, \forall c_k \in [E_m^0, m = 1, \dots, EC] \dots \dots \dots (2)$$

$$\forall k, \forall p_k \in [P_m^0, m = 1, \dots, PC] \dots \dots \dots (3)$$

$$\forall k, \forall t_k \in [T_m^0, m = 1, \dots, TC] \dots \dots \dots (4)$$

$$\forall k, \forall v_k \in [V_m^0, m = 1, \dots, VC] \dots \dots \dots (5)$$

DPP: عدد الأنابيب الجديدة التي نريد اختيارها وتصميمها.

RPP: عدد الأنابيب التي نريد إعادة تأهيلها.

DPM: عدد المضخات التي نريد اختيارها وتصميمها.

يتم عادة اختيار التصميم الأمثل بالاعتماد على قيم الحمل المائي (الإحتياج المائي) بالحالة المستقرة بأحد ساعات اليوم، وعادة ما يتم اختيار ساعة الذروة.

### 6- قيود الضغط بالعقد: Junction Pressure constraints

تتطلب عقد الاستهلاك أن يكون الضغط فيها أعلى من الحد الأصغري (ارتفاع المبنى + الضياعات الكلية بالإنبوب الفرعي + الضياعات بالتوصيلات المنزلية حتى الخزان التجميعي بأعلى المبنى)، وكذلك يجب أن لا يتجاوز الضغط القيمة الأعظمية التي تتحملها العدادات والتجهيزات المنزلية.

ويفضل أن يبقى الضغط في العقد بشكل عام يساوي الى الضغط الأصغري المسموح + 1 bar، وذلك للتقليل من حجوم الضياعات بالتسرب، لأنه كلما زاد الضغط بالأنابيب أدى ذلك لتسرب كميات أكبر من المياه عن طريق الوصلات السيئة بين الأنابيب، وبسبب أخطاء التنفيذ.

ويمكن كتابة ما سبق كقيود يستخدم لضبط عمل الخوارزميات الجينية:

$$H_{i,j}^{\min} \leq H_{i,j}(t) \leq H_{i,j}^{\max} \quad \forall t, i = 1, \dots, N_j ; j = 1, \dots, NDM \quad (6)$$

حيث:  $H_{i,j}(t)$ : الضاغط الهيدروليكي في العقدة  $i$  في حالة الحمل المائي  $Z$  في الزمن  $t$ .

$N_j$ : عدد العقد الموجودة والمستهدفة بالدراسة.

$H_{i,j}^{\min}, H_{i,j}^{\max}$ : الضاغط الأصغري والأعظمي المسموح والذي يجب عدم تجاوزه.

NDM: عدد حالات التحميل المائي.

### 7- قيود الجريان بالأنابيب: Pipe Flow constraints

جب أن تكون السرعة ضمن حدود معينة، برنامج الخوارزمية سيتجنب السرعة المنخفضة لأنها تحتاج لأقطار كبيرة وهذا مكلف اقتصادياً، بالتالي يجب على المصمم ضبط السرعة المرتفعة، لأنها تؤدي لزيادة مشكلة الصدمات المائية في خطوط الشبكة، خاصة أن معظم شبكات المياه البلاستيكية يكون ضغطها الإسمي 10 bar.

كذلك قيمة الميل الهيدروليكي HG (ضياع الطاقة بالكيلو متر m/Km)، يجب أن لا تتجاوز القيم المسموحة، والتي تقدر بحوالي 13 m/Km، لأن الزيادة عن هذه القيمة يؤدي إلى ضياع طاقة المضخات:

$$v_{i,j}(t) \leq v_{i,j}^{\max} \quad \forall t, i = 1, \dots, N_p \quad j = 1, \dots, NDM \quad (7)$$

$$HG_{i,j}(t) \leq HG_{i,j}^{\max} \quad \forall t, i = 1, \dots, N_p \quad j = 1, \dots, NDM \quad (8)$$

$v_{i,j}(t)$  : السرعة في الأنبوب  $i$  بحالة الحمل المائي  $z$  .

$v_{i,j}^{max}$  : السرعة العظمى المسموحة في الأنبوب  $i$  بحالة الحمل المائي  $z$  .

$Np$ : عدد الأنابيب الكلي بالشبكة المستهدفة بالدراسة (يمكن أن يكون عندنا شبكة قائمة ونريد توسيعها).

$HG_{i,j}(t)$  : انحدار خط الميل الهيدروليكي للأنبوب  $i$  بحالة الحمل المائي  $z$  في الزمن  $t$  .

$NDM$ : عدد حالات التحميل المائي.

### 8-تقييم لياقة الحلول: Fitness Evaluation

هناك العديد من العلاقات (التوابع) التي يمكن استخدامها لتقييم لياقة الحلول، واعطائها علامة تتناسب مع أفضليتها على أقرانها من الحلول، شكل العلاقة المستخدمة بحد ذاته غير مهم، ولكن ما يهم هو أن يعطي تطبيق هذه العلاقة دلالة على أفضلية حل على غيره من الحلول.

وعادة ما تكون قيمة التابع أعلى للحلول الأفضل، ويفضل أن تكون كل القيم الناتجة عن تطبيق علاقة اللياقة fitness function موجبة.

في عام 1996م اقترح العالمان Zheng and Larsen العلاقة التالية لتقييم جودة الحلول نسبة إلى بعضها البعض من أجل تابع الهدف (أدنى تكلفة) Last cost {5}:

$$\phi = 1 - \frac{C_{nn}(\vec{D}, \vec{E}, \vec{P})}{\text{Max}_{nn=1, \dots, NN} C_{nn}(\vec{D}, \vec{E}, \vec{P})} \quad (9)$$

حيث:  $NN$ : هو عدد عناصر الجيل.

$C_{nn}(\vec{D}, \vec{E}, \vec{P})$  : تكلفة الحل  $n$  في الجيل الحالي.

وبذلك فإن  $\phi_{nn}$  ستكون قيمته محصورة ضمن المجال  $[0,1]$  .  $0 \leq \phi_{nn} \leq 1$  أي كلما صغرت تكلفة الحل نسبة لباقي الحلول ستكبر القيمة العددية للعلاقة  $\phi_{nn}$  .

### 9-الحل الأمثل الأقل كلفة: Last cost optimization

الحل الأقل تكلفة يعرف على أنه تحسين وحيد الهدف single objective optimization، في هذه الطريقة الحل الأمثل هو الحل الذي يحقق أقل تكلفة minimum cost، محققاً المعايير الهيدروليكية للشبكة مثل:

1- الضغط الأصغري في العقد.

2- الضغط الأعظمي في العقد.

3- السرعة الصغرى المسموحة للجريان بالأنابيب.

4- السرعة الأعظمية المسموحة للجريان في الأنابيب.

### 10-شبكة مياه نيويورك: New York City Water Supply Tunnels Problem

قام العالمان Schaak , Lai في عام 1969م ، بتطوير حالة دراسية اصبحت مرجع لكل من يريد استخدام الخوارزميات التطورية للوصول لحلول اقتصادية . الشبكة هي عبارة عن خزان أرضي Hill View يقع على منسوب 300 ft عن سطح البحر، ويغذي بالإسالة شبكة مياه مؤلفة من فرعتين أساسيتين من انابيب الفونت المرن، الأولى City Tunnel1، والثانية City Tunne2.

الفرع الاول City Tunnel1 للشبكة يمر بمنطقة Manhatan حتى Brooklyn ويوزع المياه بالاحتياجات المطلوبة على طول الأنابيب حتى الوصول لمنطقة Brooklyn.

الفرع الثاني City Tunnel2 يمر من منطقة Queens و Brooklyn حتى الوصول لمنطقة Richmond. أقطار الأنابيب المستخدمة كبيرة جداً (60-204) inch، لتعطي الاحتياج الكبير لمثل هكذا مدينة ضخمة، والشبكة تتغذى بالإسالة من الخزان الأرضي Hill View المتواجد على تلة.

سيتم استخدام الواحدات الأميركية في هذا المثال ليستطيع أي شخص مقارنة النتائج التي سنحصل عليها بباقي النتائج المنشورة عن نفس الشبكة، المطلوب في هذه المسألة الحفاظ على قيم الضغط بكل النقاط كما يوضح الجدول (2)، وذلك عن طريق اضافة عدد من الأنابيب الجديدة، بموازات الأنابيب الموجودة حالياً.

الجدول رقم(1): يبين قيمة معامل هازن وليمز  $C_{HW}$  للأنابيب الجديدة وتكلفة تمديد واحدة الطول منها.

القطر Diameter (in)	معامل هازن وليمز Hazen Williams C Factor	تكلفة شراء وتركيب واحدة الطول Unit Cost (\$/ft)
0	100	0
60	100	176
72	100	221
84	100	267
96	100	316
108	100	365
120	100	417
132	100	469

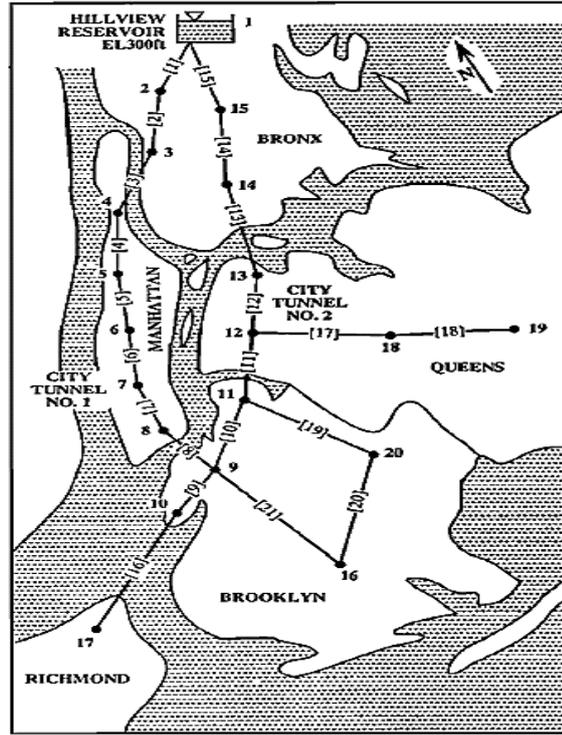
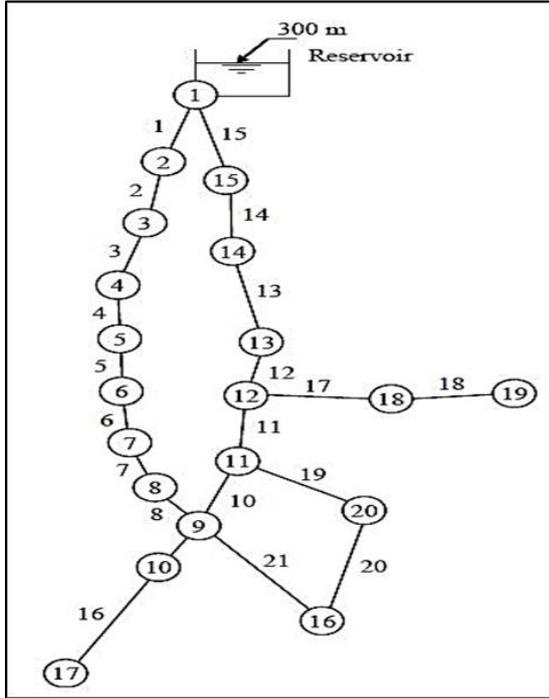
الجدول رقم (2): يبين مواصفات الانابيب والاحتياجات المائية في العقد والضغط الأصغري المطلوب فيها

العقدة Node	الإحتياج Demand ft <sup>3</sup> /s	الضغط الاصغري المطلوب Minimum Total Head ft H <sub>2</sub> o	الأنبوب Pipe	عقدة البداية Start Node	عقدة النهاية End Node	طول الأنبوب Length ft	القطر الحالي Diameter inch
1	الخزان	300	1	1	2	11600	180
2	92.4	255	2	2	3	19800	180
3	92.4	255	3	3	4	7300	180
4	88.2	255	4	4	5	8300	180
5	88.2	255	5	5	6	8600	180
6	88.2	255	6	6	7	19100	180
7	88.2	255	7	7	8	9600	132
8	88.2	255	8	8	9	12500	132
9	170	255	9	9	10	9600	204
10	1	255	10	11	9	11200	204
11	170	255	11	12	11	14500	204
12	117.1	255	12	13	12	12200	204
13	117.1	255	13	14	13	24100	204
14	92.4	255	14	15	14	21100	204
15	92.4	255	15	1	15	15500	204
16	170	260	16	10	17	26400	72
17	57.5	272.8	17	12	18	31200	72
18	117.1	255	18	18	19	24000	60
19	117.1	255	19	11	20	14400	60
20	170	255	20	20	16	38400	60
			21	9	16	26400	72

الجدول رقم (3): يبين الإحتياج المائي المطلوب بكل عقد الشبكة والضغط الحالي فيها

العقدة Node	الإحتياج Demand (ft <sup>3</sup> /s)	الضغط Pressure (feet H <sub>2</sub> O)	العقدة Node	الإحتياج Demand (ft <sup>3</sup> /s)	الضغط Pressure (feet H <sub>2</sub> O)
2	92.4	293.8	11	170	272.3
3	92.4	286.2	12	117.1	273.7
4	88.2	283.9	13	117.1	276.8
5	88.2	282	14	92.4	284.5
6	88.2	280.5	15	92.4	292.5
7	88.2	278.1	17	57.5	264.9
8	88.2	274.7	18	117.1	158.4
9	170	272.2	19	117.1	98.6
10	1	272.1	20	170	209.8
			16	170	211.1

ملاحظة: قيمة معامل هازن وليمز  $C_{HW} = 100$  لكل الانابيب ،  $1 \text{ ft}^3/\text{s} = 28.36 \text{ L/s}$  ، الضغط الفعلي في النقاط من 16 حتى 20 ينخفض عن القيمة الأصغرية المسموحة.



الشكل رقم (1): يبين المسقط الأفقي لشبكة مدينة نيويورك New York City Water Supply وأرقام كل من العقد والأنابيب بعد ادخالها على برنامج Water GEMS.

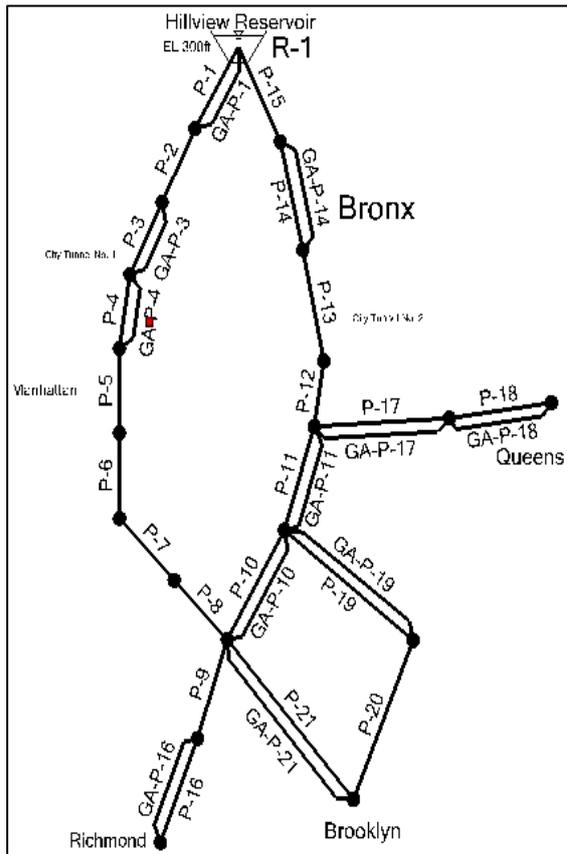
11- سيناريوهات تغيير قيم بارامترات الخوارزمية الجينية للتعرف على تأثير كل منها: قمت بإعداد 11 سيناريو لتوضيح تأثير 5 بارامترات رئيسية في الخوارزمية الجينية الفوضوية، وسنقوم بعرض أفضل خمس حلول في كل سيناريو لمقارنة تأثير تغيير قيمة كل بارامتر.

الجدول رقم (4): يبين قيم بارامترات السيناريوهات التي سيتم معايرة الخوارزمية على أساسها

رقم السيناريو	(المرجعي) 1	2	3	4	5	6	7	8
Maximum Era Number العدد الاعظمي للعصور	6	3	2	6	6	6	6	6
Era Generation Number العدد الأعظمي للأجيال	150	150	150	100	50	150	150	150
Population Size عدد عناصر التجمع الاولي للحلول	50	50	50	50	50	20	70	50
Cut Probability احتمالية القطع	1.70%	1.70%	1.70%	1.70%	1.70%	1.70%	1.70%	1.30%
Splice Probability احتمالية الوصل	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%
Mutation Probability احتمالية الطفرات	1.50%	1.50%	1.50%	1.50%	1.50%	1.50%	1.50%	1.50%
Penalty Factor معامل تابع الجزاء	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000

الجدول رقم (5): تابع للجدول السابق ويبين قيم بارامترات السيناريوهات التي سيتم معايرة الخوارزمية على أساسها للسيناريوهات المتبقية

رقم السيناريو	(المرجعي) 1	9	10	11
Maximum Era Number العدد الاعظمي للعصور	6	6	6	6
Era Generation Number العدد الاعظمي للأجيال	150	150	150	150
Population Size عدد عناصر التجمع الاولي للحلول	50	50	50	50
Cut Probability احتمالية القطع	1.70%	1.70%	1.00%	1.70%
Splice Probability احتمالية الوصل	60%	45%	30%	60%
Mutation Probability احتمالية الطفرات	1.50%	1.50%	1.50%	1.50%
Penalty Factor معامل تابع الجزاء	1000000	1000000	1000000	1000000



الأنبوب القديم Pipe	الأنبوب الجديد المركب بموازات الأنبوب القديم GA-P	قطر الأنبوب الجديد Diameter (In)	التكلفة (\$) Cost
P-1	GA-P-1	72	2563600
P-2	GA-P-2	0	0
P-3	GA-P-3	72	1613300
P-4	GA-P-4	60	1460800
P-5	GA-P-5	0	0
P-6	GA-P-6	0	0
P-7	GA-P-7	0	0
P-8	GA-P-8	0	0
P-9	GA-P-9	0	0
P-10	GA-P-10	72	2475200
P-11	GA-P-11	84	3871500
P-12	GA-P-12	0	0
P-13	GA-P-13	0	0
P-14	GA-P-14	96	6667600
P-15	GA-P-15	0	0
P-16	GA-P-16	96	8342400
P-17	GA-P-17	96	9859200
P-18	GA-P-18	84	6408000
P-19	GA-P-19	120	6004800
P-20	GA-P-20	0	0
P-21	GA-P-21	96	8342400
التكلفة الكلية لهذا الحل			57608800

الشكل رقم (2) والجدول رقم (6): يبينان الحل الأمثلي Minimum Cost بحسب السيناريو المرجعي المبني على

إضافة أنابيب جديدة بموازات الأنابيب القديمة، القطر 0 يدل على انه لا حاجة لتواجد أنبوب جديد بموازات القديم.

الجدول رقم (7): يبين قيم الضغوط بالعقد قبل وبعد اضافة أنابيب جديدة المركبة بموازات الانابيب القديمة

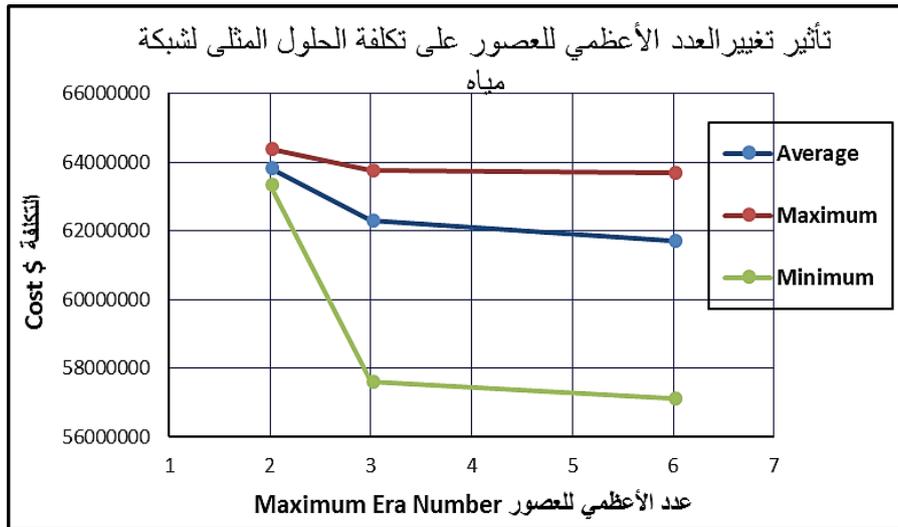
العقدة Node	الضغط الفعلي بعد اضافة عدد من الانابيب بموازات الانابيب القديمة الحل الأمثلي (السيناريو المرجعي) Pressure (feet H2O)	الضغط الاصغري المطلوب Pressure (feet H2O)	الضغط الفعلي قبل اضافة الانابيب الجديدة (الانابيب القديمة فقط) Pressure (feet H2O)
2	294.7	255	293.8
3	287.1	255	286.2
4	285.2	255	283.9
5	283.5	255	282
6	282	255	280.5
7	279.7	255	278.1
8	276.3	255	274.7
9	273.9	255	272.2
10	273.9	255	272.1
11	274	255	272.3
12	275.2	255	273.7
13	278.3	255	276.8
14	286.1	255	284.5
15	292.5	255	292.5
17	273	272.8	264.9
18	261.3	255	158.4
19	255.2	255	98.6
20	271.8	255	209.8
16	268.7	260	211.1

#### 11-1 العدد الأعظمي للعصور Maximum Era Number والعدد الأعظمي للأجيال: Era Generation Number

نلاحظ أن زيادة كل من العدد الأعظمي للعصور ، والعدد الأعظمي للأجيال سيؤدي لتحسن نتائج الخوارزمية الجينية وذلك لزيادة فرص الخوارزمية بتجريب حلول أكثر، وانتقاء الأفضل منها، وهذين البارامترين متعلقين ببعض ،حيث أن العدد الكلي للأجيال الذي تنتجه الخوارزمية ما هو الا ناتج ضرب عدد العصور بعدد أجيال كل عصر ، ولكن زيادة قيمة كل من البارامترين السابقين تؤدي إلى زيادة الزمن اللازم للوصول للهدف ، وخاصة في أجهزة الحاسب الضعيفة الإمكانيات ، وعادة ما يتعلق العدد الأعظمي للعصور والعدد الأعظمي للأجيال بتعقيد المسألة المدروسة وكبر حجم بياناتها . وهذا ما يوضحه كل من الجداول (8) و(9)، والأشكال (3) و(4).

الجدول رقم (8): يبين تكلفة تنفيذ الحلول الخمس الأولى المثلى في كل من السيناريوهات: 1، 2، 3.

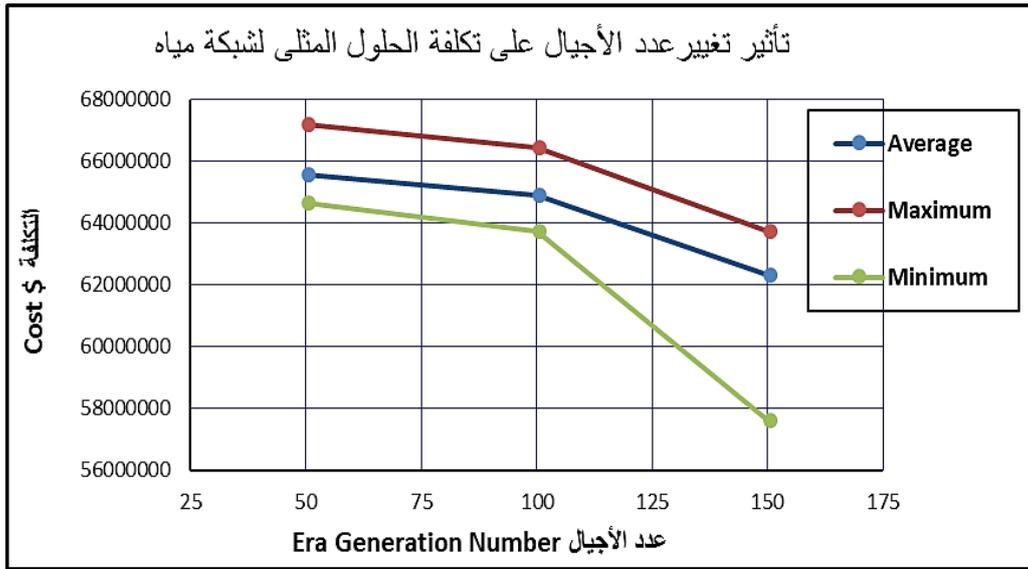
التكلفة المالية لتنفيذ كل حل مقدر بـ \$			
3	2	1 (المرجعي)	رقم السيناريو :
2	3	6	Maximum Era العدد الاكظمي للعصور
63332700	57608800	57108800	1
63639600	63167900	62167900	2
63753400	63332700	62032700	3
64106500	63639600	63600600	4
64384800	63753400	63680400	5
63843400	62300480	61718080	Average متوسط تكلفة الحلول
64384800	63753400	63680400	تكلفة الحل الأسوأ اقتصادياً Maximum
63332700	57608800	57108800	تكلفة الحل الأفضل اقتصادياً Minimum



الشكل رقم (3): يبين المنحنيات المعبرة عن علاقة العدد الأعظمي للعصور بتكلفة تنفيذ الحلول المثلى في كل من السيناريوهات: 1، 2، 3.

الجدول رقم (9): يبين تكلفة تنفيذ الحلول الخمس الأولى المثلى في كل من السيناريوهات: 1، 4، 5.

التكلفة المالية لتنفيذ كل حل مقدر بـ \$			رقم السيناريو :
5	4	(المرجعي) 1	
50	100	150	<b>Era Generation Number</b> العدد الأعظمي للأجيال
64678800	63753400	57608800	1
64663400	64106500	63167900	2
64914900	64084800	63332700	3
66297200	66156000	63639600	4
67208304	66436600	63753400	5
65552521	64907460	62300480	متوسط تكلفة الحلول Average
67208304	66436600	63753400	تكلفة الحل الأسوأ اقتصادياً Maximum
64663400	63753400	57608800	تكلفة الحل الأفضل اقتصادياً Minimum



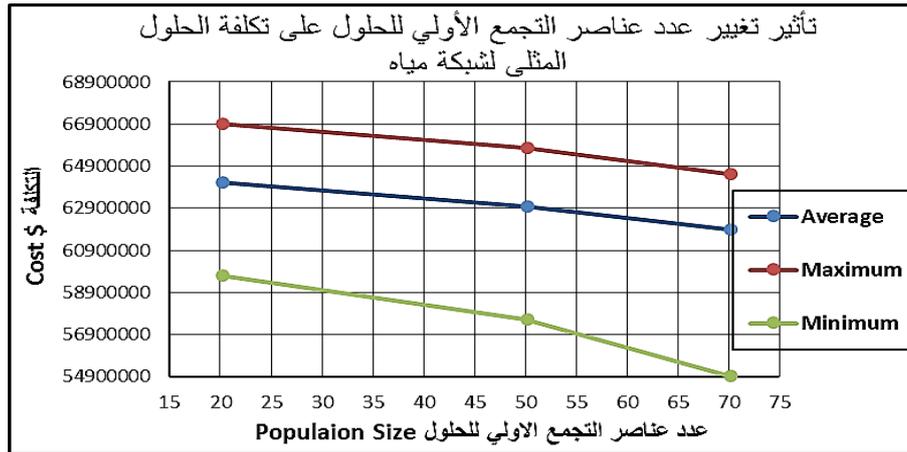
الشكل رقم (4): يبين المنحنيات المعبرة عن علاقة عدد الأجيال بتكلفة تنفيذ الحلول المثلى في كل من السيناريوهات: 1، 4، 5

## 2-11 التجمع الأولي للحلول :Population Size

يعتبر عدد الحلول البدائي من العوامل المهمة للوصول الخوارزمية الجينية بنوعها -البسيطة والفوضوية- إلى حلول جيدة ، وهو يتعلق بعدد انابيب الشبكة المدروسة ، فكلما زاد عدد الانابيب و زاد عدد خيارات الأقطار المتوفرة تجارياً -عند استخدام المتغيرات المتقطعة (المقسمة) غير المستمرة discrete- فإن زيادة عدد الحلول البدائية سيساعد في الوصول لحلول مثلى بشكل أفضل ، ولكن أيضاً لا يجب المبالغة في زيادة قيمة هذا البارامتر لما له من تأثير في زيادة العمليات الحسابية التي تتطلبها الخوارزمية بالتالي زيادة الزمن اللازم للوصول للحل النهائي ، وهذا ما يوضحه كل من الجدول (10) والشكل (5)

الجدول رقم (10): يبين تكلفة تنفيذ الحلول الخمس الأولى المثلى في كل من السيناريوهات: 1، 6، 7.

التكلفة المالية لتنفيذ كل حل مقدر بـ \$			
7	1 (المرجعي)	6	رقم السيناريو :
70	50	20	عدد عناصر التجمع الأولي للحلول Population Size
54960800	57608800	59712200	1
61996600	63167900	64487700	2
63767300	63802700	64497900	3
64304300	64639600	65004300	4
64515400	65753400	66893300	5
61908880	62994480	64119080	متوسط تكلفة الحلول Average
64515400	65753400	66893300	تكلفة الحل الأسوأ اقتصادياً Maximum
54960800	57608800	59712200	تكلفة الحل الأفضل اقتصادياً Minimum



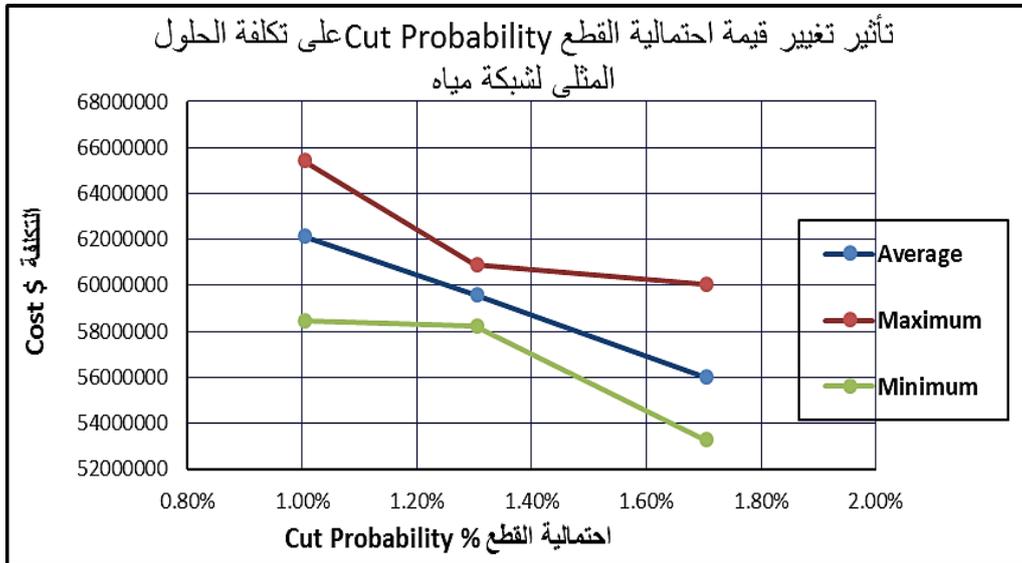
الشكل رقم (5): يبين المنحنيات المعبرة عن علاقة عدد عناصر التجمع الأولي للحلول بتكلفة تنفيذ الحلول المثلى في كل من السيناريوهات: 1، 6، 7.

### 3-11 احتمالية القطع Cut Probability:

نلاحظ أن زيادة احتمالية القطع كان لها أثر إيجابي حيث أن زيادتها أدت للوصول لحل أفضل اقتصادياً، وتعتبر القيمة % (1,6) جيدة ومقبولة لعدد من العلماء على رأسهم العالم Tom Walske، كما يبين كل من الجدول (11) والشكل (6).

الجدول رقم (11): يبين تكلفة تنفيذ الحلول الخمس الأولى المثلى في كل من السيناريوهات: 1، 8، 9.

التكلفة المالية لتنفيذ كل حل مقدر بـ \$			رقم السيناريو :
9	8	(المرجعي) 1	
1.00%	1.30%	1.70%	احتمالية القطع Cut Probability
59459100	58255800	53308800	1
58481500	58539400	53367900	2
65446200	60019200	53432700	3
62880200	60303800	60039600	4
64452700	60885600	60003400	5
62143940	59600760	56030480	متوسط تكلفة الحلول Average
65446200	60885600	60039600	تكلفة الحل الأسوأ اقتصادياً Maximum
58481500	58255800	53308800	تكلفة الحل الأفضل اقتصادياً Minimum



الشكل رقم (6): يبين المنحنيات المعبرة عن علاقة احتمالية القطع بتكلفة تنفيذ الحلول المثلى في كل

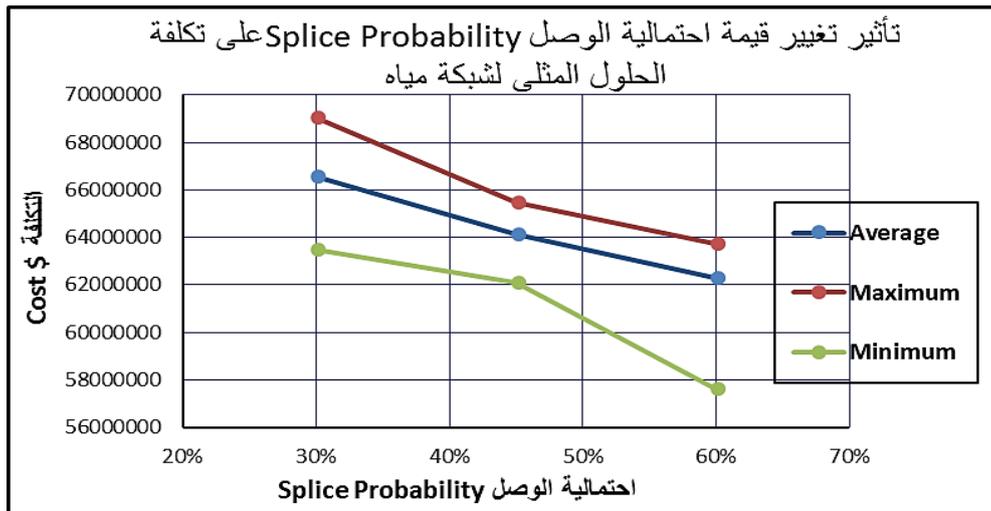
من السيناريوهات: 1، 8، 9.

#### 4-11 احتمالية الوصل: Splice Probability

نلاحظ أن زيادة قيمة احتمال الوصل تؤدي لتحسن نتائج الخوارزمية بشكل واضح جداً على مختلف الأصعدة (القيمة الصغرى والعظمى والمتوسطة لتكلفة الحلول)، لذلك ننصح بأن تقترب قيمة هذا البارامتر من 60%، كما يوضح الجدول (12) والشكل (7).

الجدول رقم (12): يبين تكلفة تنفيذ الحلول الخمس الأولى المثلى في كل من السيناريوهات: 1، 10، 11.

التكلفة المالية لتنفيذ كل حل مقدرة ب \$			
11	10	1 (المرجعي)	رقم السيناريو :
30%	45%	60%	Splice Probability احتمالية الوصل
63496700	62099500	57608800	1
63619100	63763800	63167900	2
68054096	64058400	63332700	3
68565400	65201500	63639600	4
69064496	65453400	63753400	5
66559958	64115320	62300480	متوسط تكلفة الحلول Average
69064496	65453400	63753400	تكلفة الحل الأسوأ اقتصادياً Maximum
63496700	62099500	57608800	تكلفة الحل الأفضل اقتصادياً Minimum



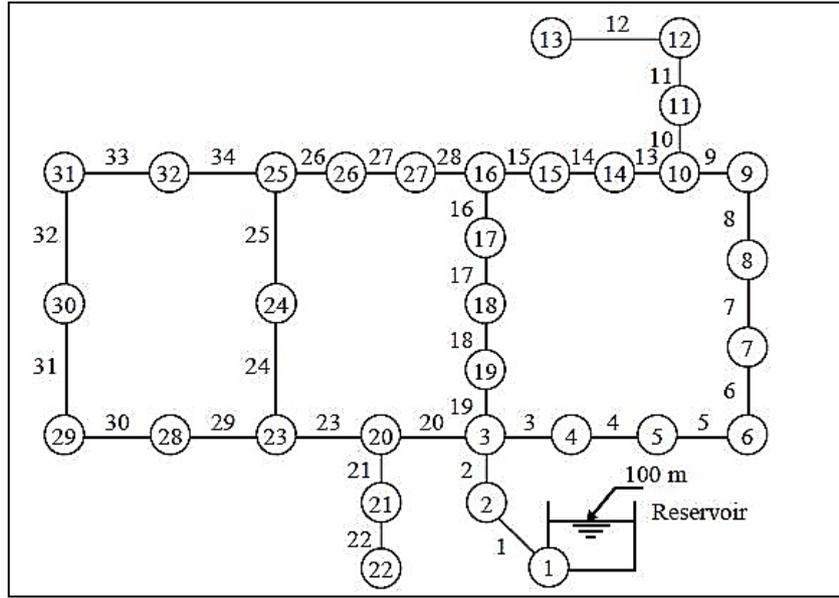
الشكل رقم (7): يبين المنحنيات المعبرة عن علاقة احتمالية الوصل بتكلفة تنفيذ الحلول المثلى في كل

من السيناريوهات: 1، 10، 11.

## 12- تطبيق على شبكة مياه في مدينة هانوي في دولة فيتنام Hanoi Vitnam:

سيتم تطبيق ما تم الاستفادة منه من حيث تأثير بارامترات الخوارزمية الجينية في الحلول الأمثلية الناتجة عنها ، على شبكة مياه صغيرة في مدينة هانوي Hanoi عاصمة دولة فيتنام، وهي أحد الشبكات الثلاث العالمية التي يتم عن خلالها مقارنة نتائج استخدام طرق الوصول للأمثلية بين العلماء ، أول من درس هذه الشبكة العالمان Khang , Fujiwara ، عام 1990م ، وأعاد كل من العلماء (Saviv,Walters(1997) ، Abebe,Solomatine(1998) ، Kahraman(2003) ، و (Liong,Atiquazzam(2004) ، و (Guc(2006) دراستها كمثال تطبيقي على الخوارزميات الجينية بنوعها البسيط SGA والفوضوي MGA .

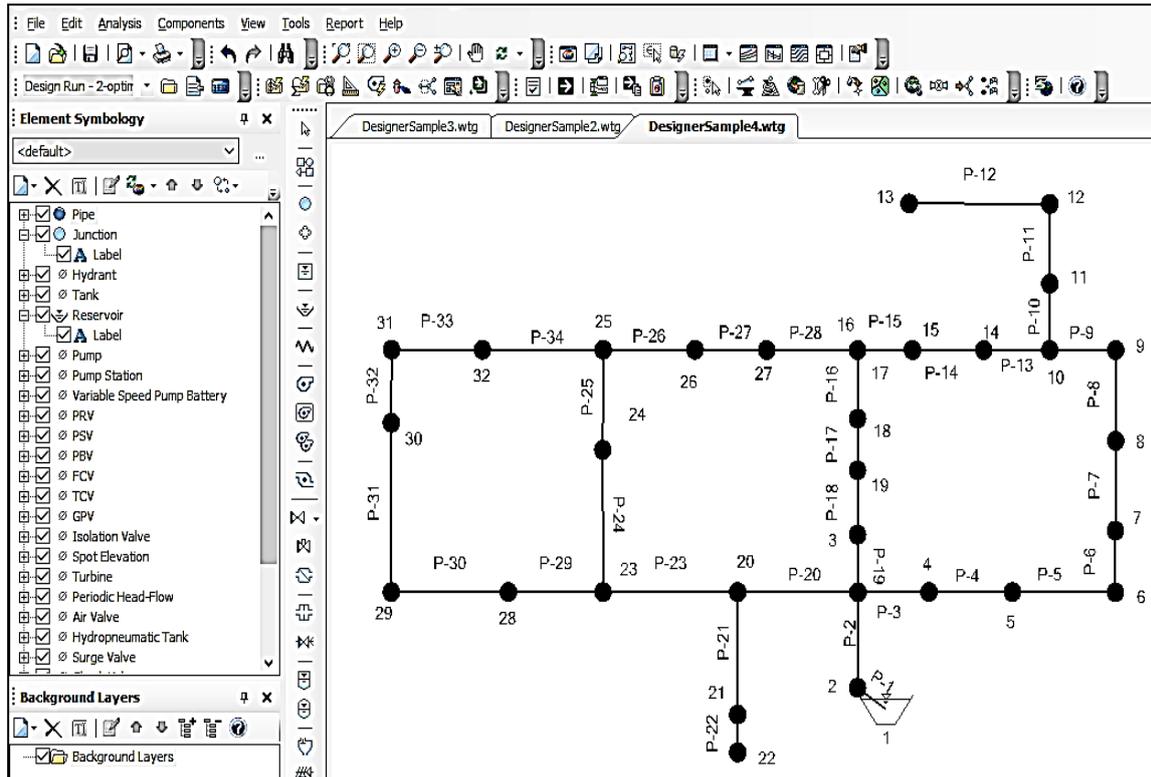
الشبكة مؤلفة من 32 عقدة-بما في ذلك الخزان-، 34 أنبوب، و ثلاث حلقات كما يبين الشكل (6-10). تم اعتماد علاقة Hazen-Williams لحساب ضياع الطاقة خلال الأنابيب ، ومعامل الضياع  $C_{HW} = 130$  لكل الأنابيب. المطلوب تصميم الشبكة (تحديد أقطار الأنابيب)، حيث لا يقل الضغط في أي عقدة عن  $30 \text{ m H}_2\text{O}$ ، الأنابيب كلها من الفونت المرن Ductile Iron.



الشكل رقم (10): يبين المسقط الأفقي لشبكة مياه هانوي فيتنام Hanoi Vitnam

الجدول رقم (15): يبين الأقطار المتوفرة تجارياً وقيمة معامل هازن وليمز  $C_{HW}$  وتكلفة تمديد واحدة الطول منها

القطر Diameter (in)	القطر Diameter (mm)	معامل هازن وليمز Hazen Williams C Factor	تكلفة شراء وتركيب القدم الطولي Unit Cost (\$/ft)	تكلفة شراء وتركيب المتري الطولي Unit Cost (\$/m)
12	304.8	130	13.94	45.73
16	406.4	130	21.46	70.41
20	508	130	29.99	98.39
24	609.6	130	39.42	129.33
30	762	130	55.09	180.74
40	1016	130	84.82	278.28



الشكل رقم (11): يبين ادخال الشبكة داخل برنامج Water GEMS

Parameter	Value	Unit
Maximum Era Number:	8	
Era Generation Number:	200	
Population Size:	100	
Cut Probability:	1.7	%
Splice Probability:	60.0	%
Mutation Probability:	1.5	%
Random Seed:	0.700	
Penalty Factor:	100,000,000.000	

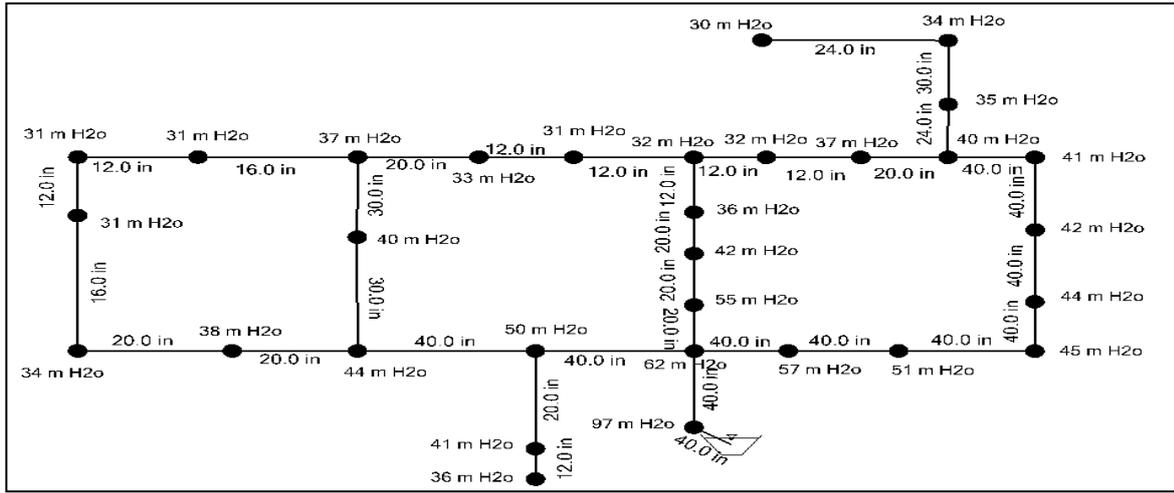
الشكل رقم (12): يبين بارامترات الخوارزمية الجينية الفوضوية التي تم اختيارها بعد عدد من المحاولات للوصول للحل الأمثلي

الجدول رقم (16): يبين الأقطار التي تم اختيارها كحل أمثلي من قبل برنامج الخوارزمية الجينية.

التصميم الأمثلي بحسب برنامج Darwin Designer					
Pipe الأنبوب	القطر Diameter (in)	التكلفة Cost (\$)	Pipe الأنبوب	القطر Diameter (in)	التكلفة Cost (\$)
P-1	40	27828	P-19	20	39352
P-2	40	375678	P-20	40	612216
P-3	40	250452	P-21	20	147570
P-4	40	320022	P-22	12	22860
P-5	40	403506	P-23	40	737442
P-6	40	125226	P-24	30	222310
P-7	40	236538	P-25	30	234962
P-8	40	236538	P-26	20	83623
P-9	40	222624	P-27	12	13716
P-10	24	122864	P-28	12	34290
P-11	30	216888	P-29	20	147570
P-12	24	452655	P-30	20	196760
P-13	20	78704	P-31	16	112640
P-14	12	22860	P-32	12	6858
P-15	12	25146	P-33	12	39319
P-16	12	124816	P-34	16	66880
P-17	20	172165	المجموع الكلي لتكلفة تنفيذ الحل		6211581
P-18	20	78704	\$USD		

الجدول رقم (17): يبين الضواغط الناتجة عن استخدام الأقطار بحسب الحل الأمثلي الذي تم اختيارها من قبل برنامج الخوارزمية الجينية.

العقدة Node	الضغط بعقد الشبكة Pressure (m H2O)	العقدة Node	الضغط بعقد الشبكة Pressure (m H2O)
1	100	17	35.63
2	97.14	18	41.76
3	61.67	19	54.83
4	57.06	20	50.41
5	51.34	21	41.06
6	45.34	22	35.89
7	43.94	23	44.15
8	42.28	24	39.73
9	40.97	25	37.12
10	40.01	26	33.02
11	35.39	27	31.47
12	34.23	28	38.37
13	30.02	29	34.03
14	37.03	30	30.62
15	32.42	31	30.56
16	31.54	32	30.59



الشكل رقم (13): يبين الأقطار وقيم الضاغظ بالعقد بحسب الحل الأمثلي الذي تم التوصل له

الجدول رقم (18): يبين نتائج الدراسات السابقة في مقارنة مع دراستي من حيث اختيار أقطار الأنابيب الأمثلية

الأنابيب Pipe	طول الأنابيب Length m	Savic and Walters (1997)	Abebe and Solomatine (1998)	Cunha and Sousa (1999)	Kahrama n (2003)	Liong and Atiquazza m (2004)	Guc (2006)	نتائج بحثي (2017)
P-1	409	40	40	40	40	40	40	40
P-2	1,003	40	40	40	40	40	40	40
P-3	849	40	40	40	40	40	40	40
P-4	999	40	40	40	40	40	40	40
P-5	1,230	40	40	40	40	40	40	40
P-6	649	40	40	40	40	40	40	40
P-7	945	40	40	40	40	40	40	40
P-8	955	40	30	40	40	30	40	40
P-9	788	40	30	40	30	30	40	40
P-10	698	30	30	30	30	30	24	24
P-11	840	24	30	24	24	30	24	30
P-12	1,683	24	30	24	24	24	24	24
P-13	788	20	16	20	16	16	12	20
P-14	855	16	24	16	12	12	12	12
P-15	655	12	30	12	12	12	16	12
P-16	721	12	30	12	16	24	12	12
P-17	544	16	30	16	20	30	20	20
P-18	677	20	40	20	24	30	30	20
P-19	606	20	40	20	24	30	20	20
P-20	1,437	40	40	40	40	40	40	40
P-21	1,287	20	20	20	20	20	20	20
P-22	400	12	20	12	12	12	12	12
P-23	1,609	40	30	40	40	30	40	40
P-24	1,496	30	16	30	24	30	30	30
P-25	1,053	30	20	30	24	24	30	30
P-26	1,097	20	12	20	20	12	30	20
P-27	856	12	24	12	12	20	20	12
P-28	1,088	12	20	12	16	24	16	12
P-29	1,133	16	24	16	20	16	16	20
P-30	1,398	16	30	12	16	16	20	20
P-31	1,781	12	30	12	16	12	16	16
P-32	769	12	30	16	12	16	20	12
P-33	1,086	12	30	16	12	20	16	12
P-34	1,444	16	12	24	20	24	24	16
التكلفة الكلية لكل حل أمثلي Milliom USD		6,073	7,006	6,056	6,062	6,224	6,334	6,211

يلاحظ أن نتائج جميع الدراسات السابقة متقاربة جداً من حيث اختيار مقاسات الأقطار، حيث أن العالمان Savic,Walter حققا أقل تكلفة، ولكن حلها انتهاك قيد الحد الأدنى للضغط في عقدتين، وكذلك حصل مع العلماء Cunha,Sousa وKahraman، لذلك يعتبر الحل الذي توصلنا إليه هو الحل الأفضل نسبة لباقي الحلول، حيث حقق شرط الضغط بأقل تكلفة ممكنة. وهذا ما توضحه نتائج الضغوط في الجدول التالي.

الجدول رقم (19): يبين نتائج الدراسات السابقة في مقارنة مع دراستي من حيث الضواغط بالعقد

قيم الضاغط m H2o بعقد الشبكة بحسب الحل الأمثلي عند كل باحث ممن درسو شبكة Hanoi Vitman							
العقدة Node	Savic and Walters (1997)	Abebe and Solomatine (1998)	Cunha and Sousa (1999)	Kahrama n (2003)	Liong and Atiquazza m (2004)	Guc (2006)	نتائج بحثي (2017)
1	100	100	100	100	100	100	100
2	97.14	97.14	97.14	97.14	97.14	97.14	97.14
3	61.67	61.67	61.67	61.67	61.67	61.67	61.67
4	56.88	58.60	57.18	57.18	57.54	57.54	57.06
5	50.94	54.84	51.61	51.61	52.43	52.44	51.34
6	44.68	39.51	45.77	45.77	47.13	47.14	45.34
7	43.21	38.71	44.42	44.42	54.92	45.93	43.94
8	41.45	37.93	42.84	42.84	44.55	44.57	42.28
9	40.04	35.72	41.59	41.59	40.27	43.51	40.97
10	39.00	34.37	37.91	37.91	37.24	42.77	40.01
11	37.44	32.81	36.35	36.35	35.68	38.15	35.39
12	34.01	31.65	32.93	32.93	34.52	34.72	34.23
13	29.80	30.23	28.72	28.72	30.32	30.51	30.02
14	35.13	36.43	30.68	30.68	34.08	30.08	37.03
15	33.14	37.24	27.90	37.90	34.08	30.08	32.42
16	30.23	37.27	27.75	27.75	36.13	30.59	31.54
17	30.32	48.14	38.57	38.57	48.64	44.05	35.63
18	43.97	58.63	50.44	50.44	54.00	51.97	41.76
19	55.87	60.64	57.83	57.83	59.07	54.00	54.83
20	50.44	53.89	51.28	51.28	53.62	49.58	50.41
21	41.09	44.54	41.93	41.93	44.27	40.23	41.06
22	35.93	44.11	36.76	36.76	39.11	35.07	35.89
23	44.21	39.89	45.75	45.75	38.79	42.62	44.15
24	38.90	30.62	34.85	34.85	36.37	36.53	39.73
25	35.55	30.61	28.85	28.85	33.16	32.52	37.12
26	31.53	32.23	26.58	26.58	33.44	31.66	33.02
27	30.11	32.71	26.58	26.58	34.38	31.23	31.47
28	35.50	33.61	40.43	40.43	32.64	32.62	38.37
29	30.75	31.56	28.93	28.93	30.05	30.62	34.03
30	29.73	30.55	26.17	26.17	30.10	30.06	30.62
31	30.19	30.50	26.16	26.16	30.35	30.09	30.56
32	31.44	30.28	26.41	26.41	30.09	30.98	30.59

**13-الاستنتاجات والتوصيات:**

- 1- تبين أن لزيادة عدد العصور والأجيال أثر جيد على نتائج الخوارزمية الجينية، بزيادتها نصل لحلول أوفر اقتصادياً.
- 2- اقتراب قيمة احتمالية القطع Cut Probability من نسبة 1.8% أدى للوصول لحل ذو تكلفة اقتصادية أصغر.
- 3- زيادة قيمة احتمالية الوصل Splice Probability أدت لتحسن الحلول الأمثلية الناتجة عن الخوارزمية الجينية.
- 4- عند تصميم شبكة مياه شرب يفضل اختبار عدة قيم لبارمترات الخوارزمية، والتحقق من النتائج في كل مرة للوصول لحل اقتصادي أفضل ما يمكن.

**14-المراجع:**

- 1- Simpson, A. R., Zecchin, A. C., and Deuerlein, J. W. (2013). A graph decomposition-based approach for water distribution network optimization, **Water Resources Research**, Vol 49, No4, pp.2093–2109.
- 2- Wu, Z. Y., Simpson, A.R., Zecchin, A.C (2013), A decomposition and multi-stage optimization approach applied to optimization of water distribution systems with multiple sources. **Water Resour. Res**, 49, 380–399. pp.23–58.
- 3- Wu, Z. Y., (2007), Optimal Calibration Method for Water Distribution Water Quality Model, **Journal of Environmental Science**, Vol.41, No.7, pp1363–1378.
- 4- Wu, Z. Y., Elio F. A. and Ernesto G., (2004), Darwin Designer Productivity and Model Quality for Large Water Systems, **Journal of AWWA**, Vol. 96, No.10, 27–34.
- 5- Wu, Z. Y, Larsen, R., Walski, T., Cook, (2002). **Optimal Capacity of Water Distribution Systems**, the 1st Annual Environmental and Water Resources Systems Analysis(EWRSA) Symposium, May 19–22, Roanoke, VA, USA.
- 6- Rossman L (2000), **EPANET\_User's Manual**. Environmental Protection Agency, Risk Reduction Engineering Laboratory, USA NEW York, p200.
- 7- Savic, D.A., and Walters, G.A. (1997) – Genetic Algorithms for Least-Cost Design of Water Distribution Networks, **Journal\_of Water Resources Planning and Management**, Vol.123, No.2, pp.65–77.
- 8- Goldberg, DE., Deb, K., (1993), **accurate optimization of difficult problems using fast messy genetic algorithms**, Illinois Genetic Algorithms Laboratory, University of Illinois at Urbana–Champaign, Urbana, IL 61801, USA.
- 9- Goldberg, D.E., (1989), **Genetic Algorithms in Search of Optimization and Machine Learning**, Addison Wesley, New York, USA.