التشغيل الهيدروليكي الأمثل لمضخات شبكات مياه الشرب باستخدام الخوارزمية الجينية

نور دبدوب* بسام الخضر**

(الإيداع: 21 تموز 2024 ، القبول: 17 آيلول 2024)

الملخص:

تعدّ دراسة التشغيل الأمثل لشبكات توزيع المياه إحدى القضايا الهامة لخطط إدارة تشغيل هذه الشبكات، وفي السنوات الأخيرة اكتسبت طرق الوصول للحلول المثلى أهمية كبيرة في هذا المجال لما أثبتته من فاعلية كبيرة ودقة عالية.

تم في هذا البحث استخدام تقنية الخوارزميات الجينية البسيطة في دراسة التشغيل الأمثل لشبكة مياه شرب حي الوعر في محافظة حمص، بحيث تتحقق المتطلبات الهيدروليكية للجريان، وبأقل تكلفة اقتصادية استثمارية ممكنة للتشغيل، مع اقتراح إنشاء خزان توازن ودراسة إمكانية تغذية الشبكة من الخزان والمضخات معاً، حيث تم استخدام برنامج WaterCAD من أجل المحاكاة الهيدروليكية، وأظهرت النتائج كفاءة الخوارزمية الجينية البسيطة في إدارة تشغيل الشبكة بشكل جيد، إذ تبين أنّ الحجم المضخوخ من المياه ($1179.8\ m^3$) كافي لتغذية الشبكة بشكل مقبول، مع إمكانية إيقاف كل مضخة 6 ساعات عن العمل، وتغذية الشبكة من المضخات والخزان معاً، بتكلفة استثمارية للضخ تبلغ (102798 ل.س) في اليوم.

الكلمات المفتاحية: التشغيل الأمثل، الحلول المثلى، الخوارزميات الجينية البسيطة، المتطلبات الهيدروليكية، شبكة حي الوعر.

• طالبة دكتوراه – قسم هندسة و إدارة الموارد المائية – كلية الهندسة المدنية –جامعة البعث

** أستاذ مساعد – قسم هندسة و إدارة الموارد المائية – كلية الهندسة المدنية –جامعة البعث

Optimal Hydraulic Operation of Drinking Water Network Pumps Using Genetic Algorithm

Bassam Alkhader [*] [**] Nour Abdul ailah Dabdoub [*]

(Received: 21 July 2024 , Accepted: 17 September 2024)

Abstract:

Studying the optimal operation of water distribution networks is one of the important issues for plans to manage the operation of these networks. In recent years, methods for arriving at optimal solutions have gained great importance in this field because they have proven to be of great effectiveness and high accuracy. In this research, simple genetic algorithms technology was used to study the optimal operation of the drinking water network in the Al-Waer neighborhood in Homs Governorate, so that the hydraulic requirements for flow are met, and with the lowest possible economic investment cost for operation, with a proposal to establish a balance tank and study the possibility of feeding the network from the tank and pumps together, as The WaterCAD program was used for hydraulic simulation, and the results showed the efficiency of the simple genetic algorithm in managing the operation of the network well, as it was found that the pumped volume of water ($1179.8\ m^3$) is sufficient to supply the network in an acceptable manner, with the possibility of stopping each pump from working for 6 hours, and feeding the network from the pumps and the tank. Together, the pumping investment costs amount to (102,798 SYP) per day.

Keywords: Optimal operation, optimal solutions, simple genetic algorithms, hydraulic requirements, Al-Waer neighborhood network.

•PhD student – Department of Water Resources Engineering and Management – Faculty of Civil Engineering – Al-Baath University

** Assistant Professor – Department of Water Resources Engineering and Management – Faculty of Civil Engineering – Al-Baath University

1-مقدمة:

بدأ استخدام الذكاء الصنعي في دراسة التشغيل الأمثل لشبكات توزيع المياه مع بداية القرن الواحد والعشرين، إذ أنّ عملية تشغيل الشبكة وعملها اليومي المتغير ساعياً يعتبر موضوع هام جداً عند تصميم منظومات مياه الشرب، لأنه مهما كان تخطيط Planning الشبكة، وتصميمها Design بشكل أمثل، فإنّ أداء هذه الشبكة سيكون منخفضاً ما لم يتم إدارتها Operating بشكل أمثل [1].

يهدف التشغيل الأمثل للشبكة إلى دراسة وضبط عمل المضخات (إيقاف، وتشغيل) التي تغذي الشبكة بالمياه بأقل تكلفة استثمارية ممكنة، لذا عند دراسة التشغيل الأمثل يجب تحقيق أمران أساسيان هما [2]:

1–تحقيق المتطلبات الهيدروليكية للشبكة.

2–تقليل تكلفة الضخ المتعلقة بـ (التصريف والضاغط المطلوب تأمينهما، كفاءة عمل المضخات وزمن الضخ، سعر واحدة الطاقة الكهربائية) [3].

تتم عملية الضخ بتشغيل المضخات المتواجدة داخل المحطة خلال اليوم، بما يتناسب مع الاستهلاك المتغير ساعياً. إذ تعتبر هذه العملية معقدة جداً وتحتاج إلى ضبط بتحديد عدد المضخات التي يجب أن تعمل بأن واحد خلال كل فاصل زمني Δt ليستطيع مهندسو الكهرباء ونظم التحكم برمجة عمل المضخات داخل لوحات التحكم المرفقة بها.

انخفاض الاستهلاك الساعي سيؤدي لتوقف عمل عدد من المضخات وبقاء أخرى قيد التشغيل، وفي حال وصول منسوب الماء في أحد خزانات التجميع إلى المنسوب الأعظمي سيؤدي ذلك أيضاً لتوقف عمل أحد المضخات، مما سيؤدي لتغير تصريف وضاغط وكفاءة عمل محطة الضخ من ساعة لأخرى، لذلك يجب أخذ كفاءة التشغيل بعين الاعتبار ومحاولة إبقائها ضمن حدود مقبولة [2].

اختيار الحل الأمثل للتشغيل عملية معقدة جداً بسبب كبر حجم فضاء الحلول، واختلاف العمر التصميمي بين المضخات وعناصر الشبكة (الأنابيب، الخزانات)، ولأن الحل الأمثل خلال ساعات النهار لن يكون أمثل خلال المساء، لذا نحن بحاجة للوصول إلى حل مقبول لتشغيل الشبكة في كل ساعات اليوم [1].

تزداد الحاجة إلى دراسة التشغيل الأمثل للشبكة مع ازدياد عمر المضخات التي تغذي الشبكة، لأن المضخات في بداية عملها تعمل لساعات قليلة، أما مع زيادة عمرها التصميمي تعمل لساعات أكثر لتستطيع تأمين الاستهلاك المتزايد من المياه [4].

يمكن استخدام تقانات الوصول للحلول المثلى (الخوارزميات الجينية البسيطة) في دراسة التشغيل الأمثل لشبكات توزيع المياه للتخفيف من التكلفة الاستثمارية للشبكة، مع تأمين المتطلبات الهيدروليكية (التصريف، الضغط).

2–هدف البحث:

يكمن هدف البحث في دراسة التشغيل الأمثل لمضخات شبكة مياه شرب بحيث تتحقق المتطلبات الهيدروليكية للجريان بأقل تكلفة اقتصادية استثمارية ممكنة للتشغيل (دراسة إدارة تشغيل الشبكة)، مع اقتراح إنشاء خزان توازن أرضي ليتم تغذية الشبكة المدروسة من المضخات والخزان معاً، وذلك بالاعتماد على تقنية الخوارزميات الجينية البسيطة SGA.

3-الشروط الهيدروليكية الحدية اللازمة لدراسة التشغيل الأمثل لمضخات شبكات مياه الشرب (قيود الجريان) [5]:

3-1- شرط الضغط في العقد:

يجب أن يكون الضغط في أي عقدة استهلاك خلال زمن دراسة التشغيل الأمثل بين الضغط الأعظمي والأصغري المسموح، ويعبر عن هذا الشرط رياضياً بالعلاقة الآتية:

$$H_{i,j}^{min} \leq H_{i,j}(t) \leq H_{i,j}^{max} \quad \ldots\ldots\ldots(1)$$

$H_{i,j}(t)$: الضغط الهيدروليكي في العقدة i في حالة الاحتياج المائي j خلال الزمن t مقدراً بـ (bar).

$H_{i,j}^{min}, H_{i,j}^{max}$: الضغط الأصغري والأعظمي المسموح به مقدراً بـ (bar).

3-2- شرط الجريان في الأنابيب:

يجب ضبط سرعة الجريان الأعظمية لمنع الضخ الزائد عن الاستهلاك، لأن زيادة السرعة في الأنابيب ستؤدي إلى زيادة الضياعات، بالتالي زيادة الضاغط المقدم من المضخة، وفي هذه الحالة ستحتاج المضخة لطاقة أكبر لتستطيع تلبية متطلبات الشبكة، ويعبر عن هذا الشرط رياضياً بالعلاقة الآتية:

$$v_{i,j}(t) \leq v_{i,j}^{max} \quad \ldots..(2)$$

حيث:

$v_{i,j}(t)$: السرعة في الأنبوب i في حالة الاحتياج المائي j مقدرة بـ (m/s).

$v_{i,j}^{max}$: السرعة الأعظمية المسموحة في الأنبوب i في حالة الاحتياج المائي j مقدرة بـ (m/s).

3-3- شرط خزان التجميع:

يجب أن يتراوح منسوب المياه في الخزان بين القيمة الأصغرية والأعظمية المسموحة بها، لضمان تغذية الشبكة بشكل مقبول، خلال زمن عمل الشبكة، ويعبر عن هذا الشرط رياضياً بالعلاقة الآتية:

$$TL_{min\,g} \leq TL_g(t) \leq TL_{max\,g} \ldots\ldots(3)$$

حيث:

$TL_{min\,g}$: المنسوب الأصغري المسموح في الخزان g خلال كل زمن الدراسة مقدراً بـ (m).

$TL_g(t)$: منسوب الماء في الخزان g خلال الزمن t مقدراً بـ(m).

$TL_{max\,g}$: المنسوب الأعظمي المسموح في الخزان g خلال كل زمن الدراسة مقدراً بـ (m).

إضافة إلى ذلك، يجب حساب فرق حجم الماء بين بداية ونهاية زمن الدراسة، هل ازداد حجم الماء أم نقص عند وجود خزان توازن بالشبكة، ويعبر عن ذلك بالعلاقة الآتية:

$$\left|TV_g^{final} - TV_g^{initial}\right| \leq \Delta TV_g \ldots\ldots(4)$$

حيث:

TV_g^{final}: حجم الماء في الخزان g في نهاية زمن الدراسة مقدراً بـ (m^3).

$TV_g^{initial}$: حجم الماء في الخزان g في بداية زمن الدراسة مقدراً بـ (m^3).

ΔTV_g: التغير المسموح به في حجم الماء ضمن الخزان، يتم تحديده من قبل الدارس، ويمكن اعتباره مساوياً للصفر أو لا يزيد عن 5% من حجم الخزانg (m^3).

3-4- شرط تشغيل وإيقاف المضخات:

يجب منع تكرار تشغيل وإيقاف المضخات عند دراسة التشغيل الأمثل للشبكة، لأن ذلك له تأثير سلبي هيدروليكياً وسبب رئيسي لحدوث ظاهرة الصدمة المائية التي تتعرض لها الشبكة، ويعبر عن هذا الشرط رياضياً بالعلاقة الآتية:

$$PS_N \leq PS_{\max N} \ldots\ldots(5)$$

حيث:

PS_N: عدد مرات تشغيل و إيقاف المضخة N، خلال زمن الدراسة.

$PSmax_k$: عدد المرات الأعظمي لتشغيل وإيقاف المضخة N، خلال زمن الدراسة.

4-تابع الهدف لدراسة التشغيل الهيدروليكي الأمثل للشبكة:

تهدف دراسة التشغيل الهيدروليكي الأمثل للشبكة إلى تخفيض تكاليف التشغيل قدر الإمكان مع تحقيق المتطلبات الهيدروليكية، بالتالي يجب أن ينحو تابع الهدف إلى التكلفة الأصغرية الممكنة لاستهلاك الطاقة Minimum Cost .

– في عام (2006م) حدد الباحث "Walski" الشكل العام لتابع تكلفة استهلاك الطاقة Ce باعتبار تكلفة استهلاك الطاقة متغيرة من فترة لأخرى خلال ساعات اليوم بالعلاقة الآتية [6].

$$Ce_{multi\ tariff} = \sum_{n=1}^{N}\left[\sum_{t=0}^{t=5} En(t) * Cc + \sum_{t=6}^{t=11} En(t) * Cd + \sum_{t=12}^{t=17} En(t) * Cp + \sum_{t=18}^{t=23} En(t) * Cm\right] \dots (6)$$

حيث:

$Ce_{constant\ tariff}$: تكلفة استهلاك الطاقة مقدراً بـ (ل.س).

N: العدد الكلي للمضخات المدروسة.

T: الفترة الزمنية الكلية التي سيتم ضبط عمل المضخات خلالها عادةً ما تكون 24 hour مقدراً بـ (hour).

Cc: تكلفة استهلاك واحدة الطاقة، واحدتها في الجمهورية العربية السورية مقدراً بـ Kwh/ ل.س.

En (t): استهلاك المضخة Px من الطاقة خلال زمن الدراسة الكلي من t=0 حتىt=T مقدراً بـ (Kw).

Cc, Cd, Cp, Cm: تكلفة واحدة الطاقة المتغيرة خلال الأزمنة مقدراً بـ (Kwh/ ل.س).

5-المواد وطرائق البحث:

5-1-منطقة الدراسة:

تم اختيار شبكة مياه شرب حي الوعر الذي يقع شمالي غربي محافظة حمص.

مصدر تغذية الشبكة: تتغذى الشبكة بالضخ المباشر بواسطة أنبوب قطره 800 mm من الفونت المرن من محطة ضخ الجديدة قرب دوار المهندسين.

تم الاعتماد على المخطط التنظيمي لمنطقة الدراسة وصور Google Earth Pro كما يبين الشكل رقم (1) والخرائط الطبوغرافية والمخطط الحالي للشبكة. وجمع البيانات اللازمة من مديرية الخدمات الفنية في حمص (الحصول على مخططات توضح الشوارع ومناسيب الأرض الطبيعية للمنطقة المدروسة)، والمؤسسة العامة للمياه والصرف الصحي في حمص (تحديد الغزارات في الأنابيب والعقد).

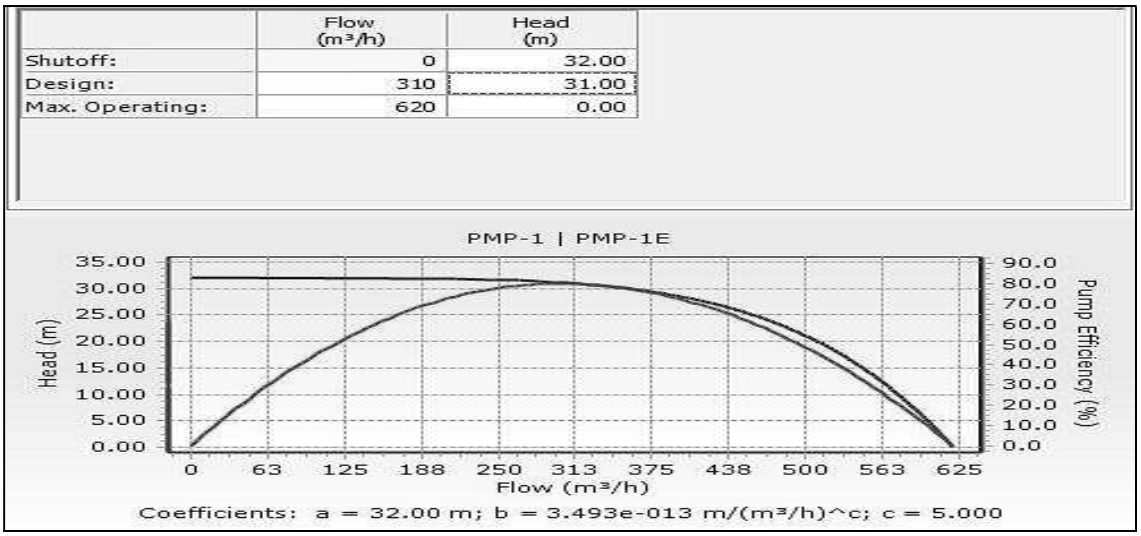
الشكل رقم (1): صورة جوية للمنطقة المدروسة.

بالإضافة إلى استخدام برنامج النمذجة الهيدروليكية الحاسوبية WaterCAD لرسم مخطط الشبكة المدروسة وإدخال كافة البيانات لكل عنصر من عناصرها وحسابها هيدروليكياً، ثم القيام بدراسة التشغيل الأمثل للشبكة من خلال منهجية عمل برمجية "Darwin Scheduler" التي تعتمد على الخوارزميات الجينية.

2-5-دراسة التشغيل الهيدروليكي الأمثل للشبكة بتطبيق تقنية الخوارزمية الجينية البسيطة:

تتألف الشبكة المدروسة من 180 عقدة و274 أنبوب مصنوع من الفونت المرن، ويبلغ الاحتياج الساعي الوسطي للشبكة (387.3 m^3/h).

تتكون محطة ضخ الجديدة من مضختين متماثلتين (Pump-1, Pump-2 مضخات ثابتة السرعة Fixed Speed) عاملتين على التوازي ومضخة ثالثة احتياطية، تم تعريف الخط المميز للمضخات (منحني التصريف– الضغط، منحني التصريف– الكفاءة) المدخلة ضمن برنامج WaterCAD في الشكل رقم (2).

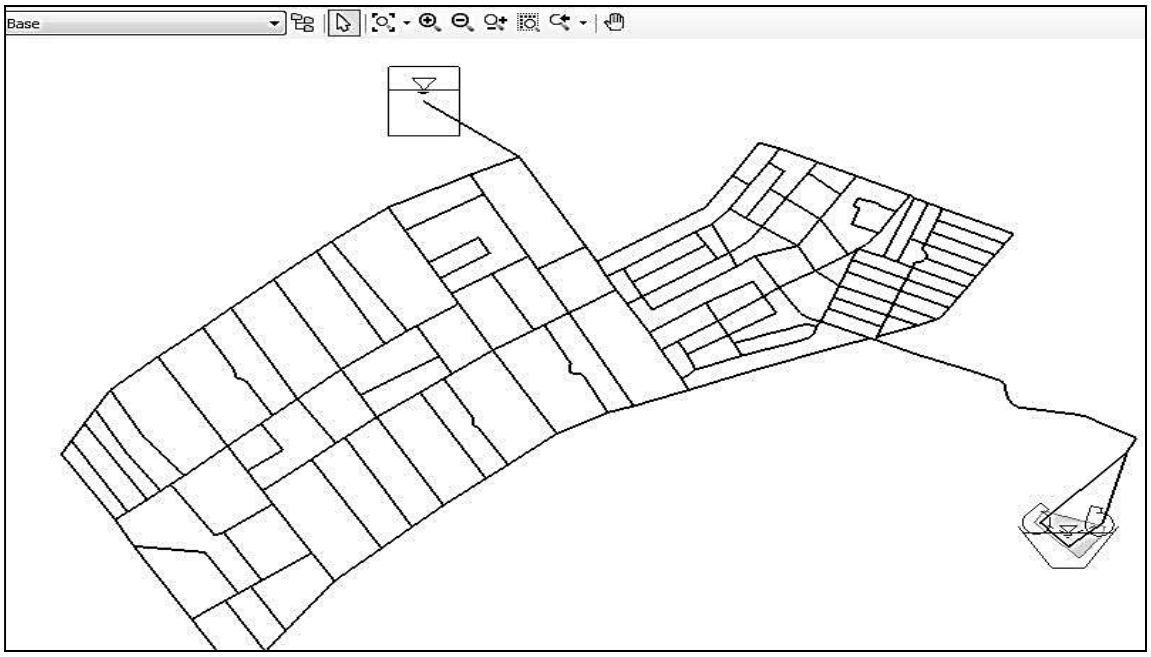


الشكل رقم (2): المنحنيات المميزة (Q–H) و(Q–E) للمضخات المستخدمة المدخلة ضمن برنامج WaterCAD.

تم اقتراح إنشاء خزان توازن أرضي حجمه (1500 m^3) يتوضع على منسوب جغرافي (512m).

عندما يكون استهلاك الشبكة قليل يذهب الفائض من المياه إلى الخزان، وعندما يزيد استهلاك الشبكة عن إمكانية المضخات يقوم الخزان بتغذية الشبكة.

يبين الشكل رقم (3) نمذجة الشبكة المدروسة والخزان المقترح إنشاءه ضمن برنامج WaterCAD.



الشكل رقم (3): نمذجة الشبكة المدروسة والخزان المقترح إنشاءه ضمن برنامج WaterCAD.

- ✓ منسوب المصدر المائي (489m).
- ✓ المنسوب الجغرافي للخزان (512m).
- ✓ ارتفاع الماء الأعظمي في الخزان (5m)، منسوب الماء في الخزان (517m).
- ✓ فرق المنسوب الأعظمي بين الخزان والمصدر المائي (28m).

من تبويب Analysis ضمن برنامج WaterCAD قمنا بفتح منهجية Darwin Scheduler واختيار New Scheduler Study ثم إدخال الشروط الهيدروليكية الحدية للجريان خلال الدراسة Constraints، كالآتي.

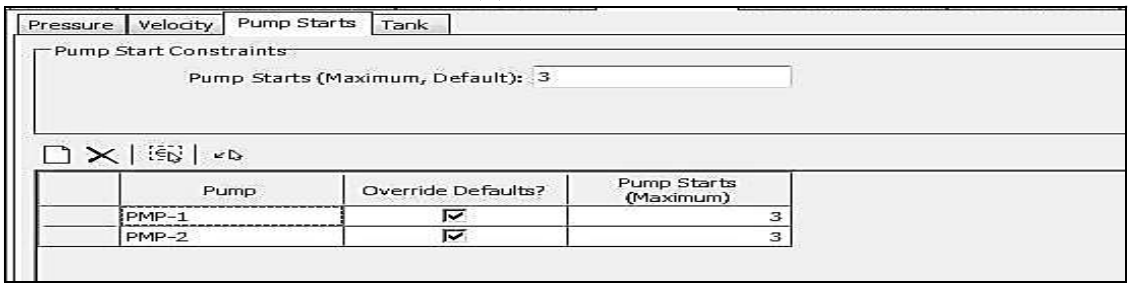
5-3-الشروط الهيدروليكية الحدية (قيود الجريان) للدراسة:

5-3-1- شرط السرعة والضغط Pressure & Velocity Constraints:

تم اختيار الأنابيب والمضخات بحيث تعمل ضمن الحدود المسموحة للضغط في الأنابيب bar(6-1.5)، والسرع المسموحة ضمن خطوط الضخ m/s(2.5-0.2) "حسب اشتراطات الكود الروسي لدراسة شبكات توزيع المياه".

5-3-2- شرط عدد مرات تشغيل المضخات Pump Starts Constraints:

تم وضع قيد بألا يزيد عدد مرات إقلاع كل مضخة يومياً عن 3 مرات كحد أقصى، لأن تكرار عملية الإيقاف والتشغيل يؤدي إلى زيادة حدوث ظاهرة الصدمة المائية كما يبين الشكل رقم (4).



الشكل رقم (4): إدخال عدد مرات تشغيل المضخات المسموح به خلال اليوم ضمن برنامج WaterCAD.

5-3-3- شرط خزان التجميع Tank Constraints:

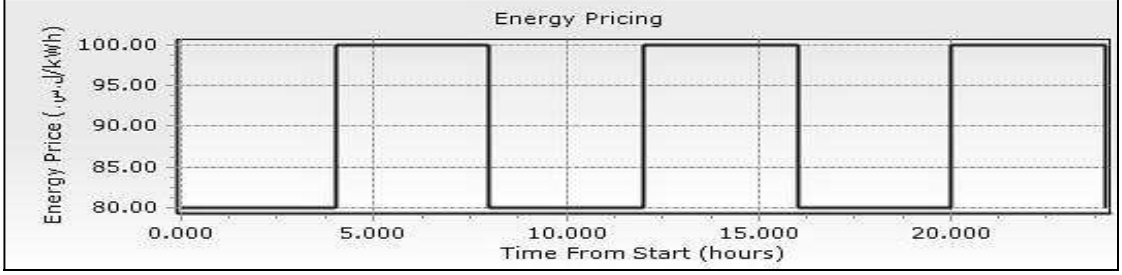
تمّ إدخال شرط قيم ارتفاع الماء المسموح في الخزان ضمن برنامج WeterCAD كالآتي:

- ✓ المنسوب الأصغري للماء ضمن الخزان Level Minimum (1m).
- ✓ المنسوب الأصغري المسموح Level Minimum Allowed (1.5m).
- ✓ المنسوب الأعظمي للماء Level Maximum (5m) .
- ✓ المنسوب الأعظمي المسموح Level Maximum Allowed (4.75m) .
- ✓ منسوب الماء البدائي في بداية زمن الدراسة Level Initial (3 m).
- ✓ منسوب الماء النهائي الأصغري المطلوب توفره في نهاية زمن الدراسة Level Minimum Final Required (3m).

5-4-تابع الهدف:

من تبويب Objective Type قمنا باختيار تابع هدف الوصول لأقل تكلفة ممكنة للضخ، كما تبين العلاقة (6)، باعتبار سعر واحدة الطاقة متغير كل أربع ساعات كما يبين الشكل رقم (5)، إذ أن التزويد الكهربائي يتم من خط التيار الكهربائي العام بسعر KWh /ل.س C_d = 80، ومن مولدات الديزل في موقع المحطة بسعر KWh /ل.س C_c = 100، " الأسعار مأخوذة بحسب كشوف المؤسسة العامة لمياه الشرب والصرف الصحي في مدينة حمص لعام 2022".

	Time from Start (hours)	Energy Price (ل.س/kWh)
1	4.000	100.00
2	8.000	80.00
3	12.000	100.00
4	16.000	80.00
5	20.000	100.00
6	24.000	80.00
7	0.000	0.00
8	0.000	0.00
*		



الشكل رقم (5): تكلفة الضخ ساعياً عند دراسة التشغيل الأمثل للشبكة.

5-5-بارامترات الخوارزمية الجينية البسيطة المستخدمة في دراسة التشغيل الهيدروليكي الأمثل للشبكة:

يعتمد اختيار بارامترات الخوارزمية الجينية البسيطة على العشوائية والتجريب، تم في هذا البحث تجريب عدد كبير من القيم، حتى تمكنا من الوصول إلى القيم المعتمدة في الجدول رقم (1)، والتي أعطت أفضل النتائج من حيث تحقيق المتطلبات الهيدروليكية، إذ تمّ الاعتماد في اختيار هذه القيم على ما يلي:

– يجب أن يتراوح عدد الحلول في كل جيل بين [500–50] حل، لأن فضاء الحلول الكبير سيؤدي إلى بطء الحساب وضياع عملية الأمثلة، أما فضاء الحلول الصغير يؤدي إلى تقارب كبير باتجاه الحل الأمثل مباشرةً (يُقلل فرص الاختيار بين الحلول) [7].

– يجب أن تتراوح احتمالية التقاطع بين %(70–60)، ويمكن أن تتم عملية التقاطع في نقطة واحدة أو عدة نقاط [8].

– يجب ألا تزيد احتمالية الطفرات عن 2%، لأنه في أغلب الأحيان الحلول التي يطرأ عليها عملية الطفرة هي حلول سيئة (الحلول التي لم تدخل في عملية التقاطع) [8].

– نتيجة اعتماد الخوارزمية الجينية على العشوائية يجب تحديد قيمة البارامتر Random Seed "وهو أخر بارامتر يتم إدخاله للخوارزمية لتوليد سلسلة من الأرقام العشوائية مختلفة عن غيرها، بالتالي نحصل على حل مختلف عن سابقه [1].

يجب تغير قيمة Random Seed أكثر من مرة للحصول على أفضل النتائج، بعد التجريب تبين أنه يجب أن تتراوح قيمته بين (1-0.5).

الجدول رقم (1): بارامترات الخوارزمية المعتمدة عند دراسة التشغيل الهيدروليكي الأمثل الشبكة.

تعريف البارامتر	قيمة البارامتر
عدد السكان (الحلول) في كل جيل Population Size	300 حل
عدد العناصر المنتقلة للجيل التالي بدون تزاوج Eilite Population Size	25 حل
عدد نقاط التقاطع Number of Crossover Points	2
احتمالية التقاطع Probability of Crossover	% 65
احتمالية الطفرات Mutation Probability	%1.5
البارامتر Random Seed	1

6-النتائج والمناقشة:

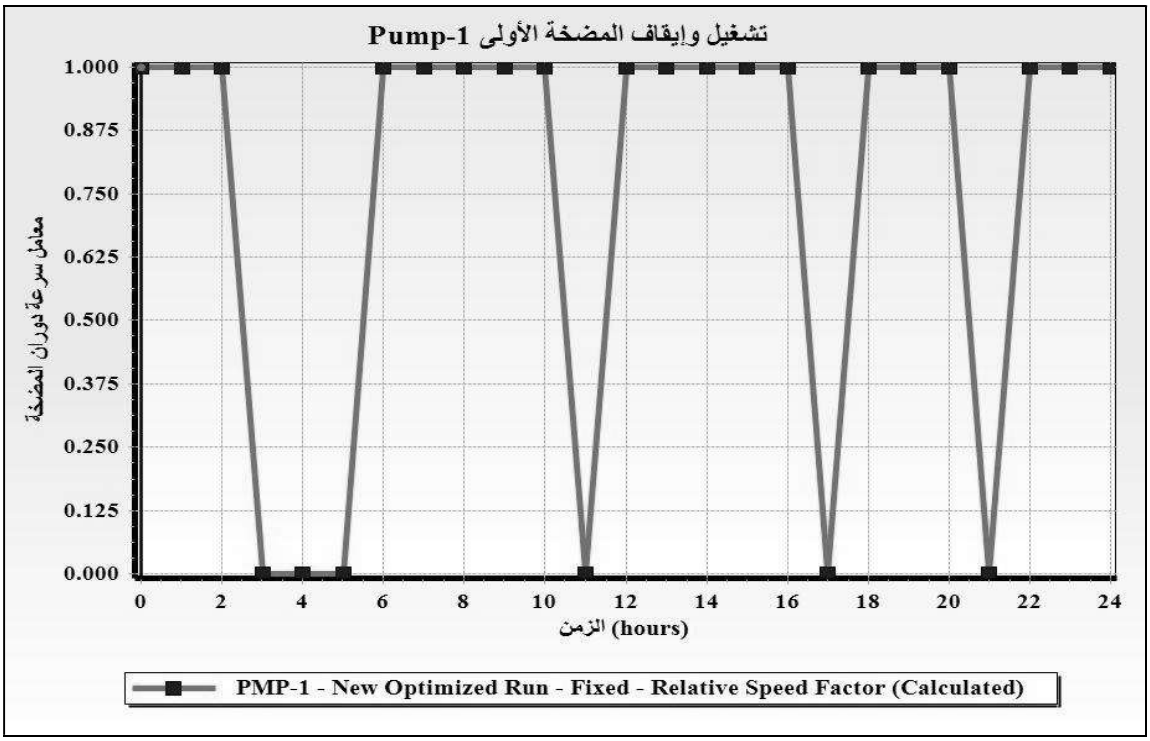
قمنا بإجراء التحليل الهيدروليكي للشبكة باستخدام برنامج WaterCAD فتبين لدينا أن 85% من السرعات في أنابيب الشبكة تتراوح بين (0.35-1.8 m/s) وهي ضمن الحدود المسموحة للسرعة، وتوزعت الضغوط في عقد الشبكة بين (1.6-3.5 bar)، وهي ضمن الحدود المسموحة للضغط، بالتالي الشبكة تعمل بشكل جيد.

ثم تم تطبيق تقنية الخوارزمية الجينية البسيطة بعد تحديد بارامترات الأمثلة للخوارزمية وتابع هدف التكلفة الأصغرية للضخ (minimum Energy Cost)، والشروط الهيدروليكية الحدية للجريان من أجل إيجاد الحل الهيدروليكي الأمثل لتشغيل الشبكة، إذ تم الحصول على 5 حلول (Solution) لتشغيل الشبكة بحسب النمذجة الهيدروليكية الحاسوبية، تم تقييم هذه الحلول بناءً على مدى تحقيق كل حل للمتطلبات الهيدروليكية إضافة إلى التكلفة الأصغرية للضخ، واختيار الحل الأفضل من بينها وتصديره إلى واجهة السيناريوهات ضمن البرنامج.

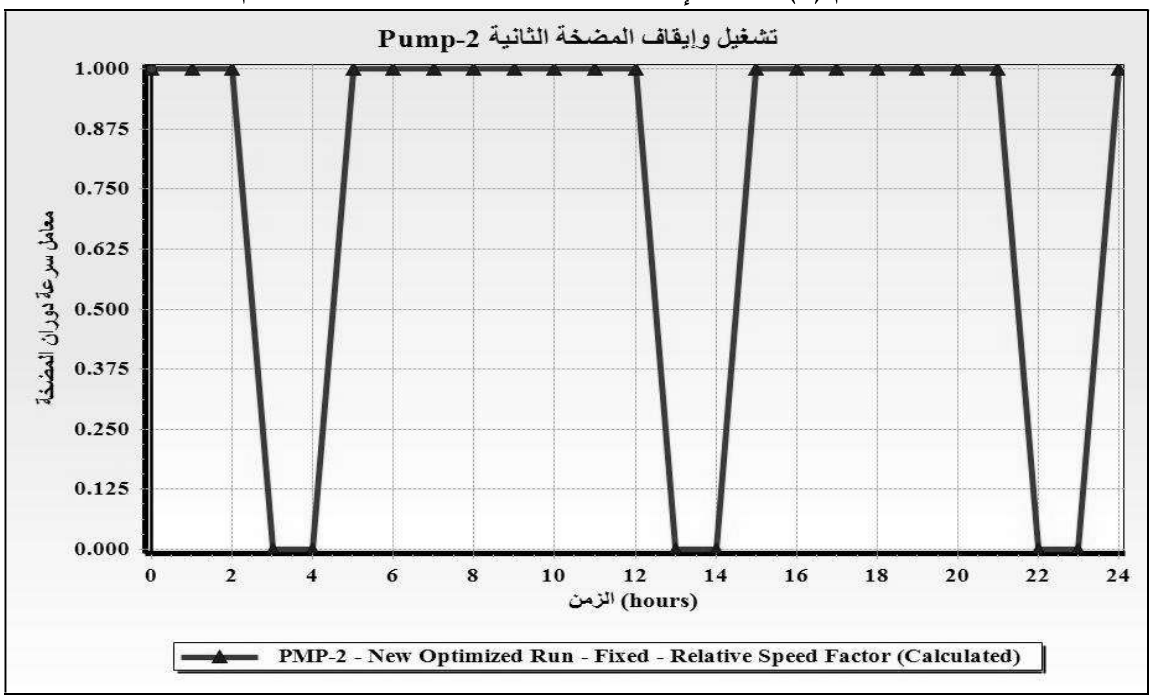
بعد إيجاد الحل الأمثل للتشغيل استطعنا تحديد جدول تشغيل وإيقاف للمضخات وإيجاد التكلفة الاقتصادية الاستثمارية لتشغيل المحطة التي تغذي الشبكة كالآتي:

يبين الشكلين رقم (7،6) ساعات تشغيل وإيقاف المضختين (Pump-1، Pump-2) ضمن المحطة بدلالة معامل سرعة دوران المضخة (معامل سرعة الدوران له قيمتين "القيمة 0 تشير إلى إيقاف المضخة"، "القيمة 1 تشير إلى تشغيل المضخة").

نلاحظ من الشكل (6) أن المضخة الأولى Pump-1 يتم إيقافها من الساعة (5–2) صباحاً وفي الساعة (11) صباحاً كذلك في الساعة (17) مساءً والساعة (21) مساءً أي يمكن إيقافها 6 ساعات عن العمل في اليوم، أما الشكل (7) يبين أنه يتم إيقاف المضخة الثانية Pump-2 من الساعة (4–2) صباحاً، ومن الساعة (14-12) مساءً، ومن الساعة (24–22) مساءً أي يمكن إيقافها 6 ساعات عن العمل أيضاً.



الشكل رقم (6): تشغيل وإيقاف المضخة Pump–1 خلال ساعات اليوم.



الشكل رقم (7): تشغيل وإيقاف المضخة Pump–2 خلال ساعات اليوم.

كما يبين الجدولين رقم (2،3) نتائج تشغيل المضختين (Pump-1، Pump-2) خلال ساعات اليوم عند دراسة التشغيل الهيدروليكي الأمثل للشبكة، حيث قمنا باستخدام العلاقات الآتية في حساب كل من:

✓ الطاقة المقدمة من مصدر الطاقة الكهربائية بواحدة (KW) تساوي:

$$\frac{\rho * g * Q * H}{\eta_p} * 10^3 \dots\dots\dots\dots\dots (7)$$

حيث:

Q: تصريف المضخة مقدراً بـ (m^3/s).

H: ضاغط المضخة مقدراً بـ (m).

η_p: كفاءة المضخة بـ %.

✓ تكلفة الضخ الإجمالية مقدرة بـ (ل.س) =: الطاقة المقدمة من مصدر الطاقة الكهربائي * سعر الكيلو واط الساعي.

✓ تكلفة ضخ واحدة الحجم من الماء =: $\frac{\text{تكلفة الضخ}}{\text{الحجم المضخوخ كل في ساعة}}$

تكلفة الضخ مقدرة بـ (ل.س)، الحجم المضخوخ مقدر بـ (m^3).

– تم اعتبار كفاءة المضخات المستخدمة (84%)، وكفاءة محرك المضخات (88%).

الجدول رقم (2): نتائج تشغيل المضخة Pump–1 خلال ساعات اليوم حسب التشغيل الهيدروليكي الأمثل للشبكة.

الزمن	التصريف	ضاغط المضخة	الطاقة الواصلة للماء	كفاءة المضخة	كفاءة محرك المضخة	الطاقة المقدمة من مصدر الطاقة الكهربائي	سعر الكيلو واط الساعي	تكلفة الضخ الإجمالية	تكلفة ضخ واحدة الحجم من الماء	معامل سرعة دوران محرك المضخة
(hour)	(m^3/h)	(m)	(kw)	%	%	(kw)	(ل.س/kwh)	(ل.س)	(ل.س/m^3)	Relative Speed Factor
0-1	310.6	31.54	25.6	84	88	31.75	80	2540	8.17	1
1-2	310.6	31.54	25.6	84	88	31.75	80	2540	8.17	1
2-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4-5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5-6	310.6	31.54	25.6	84	88	31.75	100	3175	10.22	1
6-7	310.6	31.54	25.6	84	88	31.75	100	3175	10.22	1
7-8	310.6	31.54	26.6	84	88	31.75	100	3175	10.22	1
8-9	310.6	31.54	25.6	84	88	31.75	80	2540	8.17	1
9-10	310.6	31.54	25.6	84	88	31.75	80	2540	8.17	1
10-11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11-12	310.6	31.54	25.6	84	88	31.75	80	2540	8.17	1
12-13	310.6	31.54	25.6	84	88	31.75	100	3175	10.22	1
13-14	310.6	31.53	25.6	84	88	31.75	100	3175	10.22	1
14-15	310.6	31.54	25.6	84	88	31.75	100	3175	10.22	1
15-16	310.6	31.54	25.6	84	88	31.75	100	3175	10.22	1
16-17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17-18	310.6	31.54	25.6	84	88	31.75	80	2540	8.17	1
18-19	310.6	31.54	25.6	84	88	31.75	80	2540	8.17	1
19-20	310.6	31.54	25.6	84	88	31.75	80	2540	8.17	1
20-21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21-22	310.6	31.54	25.6	84	88	31.75	100	3175	10.22	1
22-23	310.6	31.54	25.6	84	88	31.75	100	3175	10.22	1
23-24	310.6	31.54	25.6	84	88	31.75	100	3175	10.22	1

الجدول رقم (3): نتائج تشغيل المضخة Pump–2 خلال ساعات اليوم حسب التشغيل الهيدروليكي الأمثل للشبكة.

معامل سرعة دوران محرك المضخة	تكلفة ضخ واحدة الحجم من الماء	تكلفة الضخ الإجمالية	سعر الكيلو واط الساعي	الطاقة المقدمة من مصدر الطاقة الكهربائي	كفاءة محرك المضخة	كفاءة المضخة	الطاقة الواصلة للماء	ضاغط المضخة	التصريف	الزمن
Relative Speed Factor	(م^3/ل.س)	(ل.س)	(ل.س./kwh)	(kw)	%	%	(kw)	(m)	(م^3/h)	(hour)
1	8.17	2536.8	80	31.71	88	84	25.6	31.5	310.5	0-1
1	8.17	2536.8	80	31.71	88	84	25.6	31.5	310.5	1-2
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2-3
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3-4
1	10.21	3170	100	31.71	88	84	25.6	31.5	310.5	4-5
1	10.21	3170	100	31.71	88	84	25.6	31.5	310.5	5-6
1	10.21	3170	100	31.71	88	84	25.6	31.5	310.5	6-7
1	10.21	3170	100	31.71	88	84	26.6	31.5	310.5	7-8
1	8.17	2536.8	80	31.71	88	84	25.6	31.5	310.5	8-9
1	8.17	2536.8	80	31.71	88	84	25.6	31.5	310.5	9-10
1	8.17	2536.8	80	31.71	88	84	25.6	31.5	310.5	10-11
1	8.17	2536.8	80	31.71	88	84	25.6	31.5	310.5	11-12
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12-13
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13-14
1	10.21	3170	100	31.71	88	84	25.6	31.5	310.5	14-15
1	10.21	3170	100	31.71	88	84	25.6	31.5	310.5	15-16
1	8.17	2536.8	80	31.71	88	84	25.6	31.5	310.5	16-17
1	8.17	2536.8	80	31.71	88	84	25.6	31.5	310.5	17-18
1	8.17	2536.8	80	31.71	88	84	25.6	31.5	310.5	18-19
1	8.17	2536.8	80	31.71	88	84	25.6	31.5	310.5	19-20
1	10.21	3170	100	31.71	88	84	25.6	31.5	310.5	20-21
1	10.21	3170	100	31.71	88	84	25.6	31.5	310.5	21-22
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22-23
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23-24

بناءً على نتائج الجدولين (2،3) التي حصلنا عليها بعد تطبيق الخوارزمية الجينية البسيطة قمنا بتحديد قيم بارامترات نتائج تشغيل وإيقاف المضختين Pump-1، Pump-2 كالآتي:

المضخة الأولى:

- ✓ عدد ساعات عمل المضخة في اليوم: 18 hour
- ✓ حجم الماء الكلي المضخوخ في اليوم: 5590.8 m^3.
- ✓ متوسط الطاقة الواصلة للماء: 25.6 KW.
- ✓ متوسط كفاءة المضخة: 84%.
- ✓ متوسط الطاقة المقدمة من مصدر الطاقة الكهربائي: 31.75 Kw
- ✓ الطاقة الكلية المستهلكة خلال اليوم: 571.5 Kwh
- ✓ تكلفة الضخ اليومية: 52070 ل.س
- ✓ تكلفة ضخ واحدة الحجم من الماء: 52070/5590.8 = 9.31 ل.س/ m^3

المضخة الثانية:

- ✓ عدد ساعات عمل المضخة في اليوم: 18 hour
- ✓ حجم الماء الكلي المضخوخ في اليوم: 5589 m^3
- ✓ متوسط الطاقة الواصلة للماء: 25.6 Kw.
- ✓ متوسط كفاءة المضخة: 84%.
- ✓ متوسط الطاقة المقدمة من مصدر الطاقة الكهربائي: 31.71 Kw.
- ✓ الطاقة الكلية المستهلكة خلال اليوم: 570.6 Kwh.
- ✓ تكلفة الضخ اليومية: 50728 ل.س.
- ✓ تكلفة ضخ واحدة الحجم من الماء: 50728/5589 = 9.1 ل.س/ m^3.

نستنتج أن قيم البارامترات الهيدروليكية والكهربائية للتكلفة الاستثمارية للمحطة أثناء التشغيل الهيدروليكي الأمثل هي:

–الطاقة الكلية المستهلكة خلال اليوم Energy: 1142.1 Kwh.

–تكلفة الضخ الكلية اليومية[1] Energy Cost: 102798 ل.س.

–حجم الماء الذي تم ضخه خلال اليوم Volume: 11179.8 m^3.

–الطاقة اللازمة لضخ واحدة الحجم من الماء Unit Energy Use: 1142.1/11179.8 = 0.102 KWh /m^3.

–تكلفة ضخ واحدة الحجم من الماء Unit Energy Cost: 9.2 ل.س/ m^3.

–مدة الدراسة Run Duration: 24 hour

نتائج الخزان عند التشغيل الهيدروليكي الأمثل للشبكة:

لمعرفة حالة الامتلاء للخزان أثناء التشغيل الهيدروليكي الأمثل للشبكة قمنا بتحديد قيم البارامترات الآتية:

- قيمة الميل الهيدروليكي البدائية Hydraulic Grade (Beginning): 515 m
- قيمة الميل الهيدروليكي النهائية Hydraulic Grade (End): 515.04 m
- حجم الماء البدائي Volume (Beginning): 800 m^3
- حجم الماء النهائي Volume (End): 801.6 m^3

[1] تكلفة الضخ محسوبة على الأسعار خلال فترة الدراسة.

– تغير حجم الماء Volume Change: $1.59\ m^3$

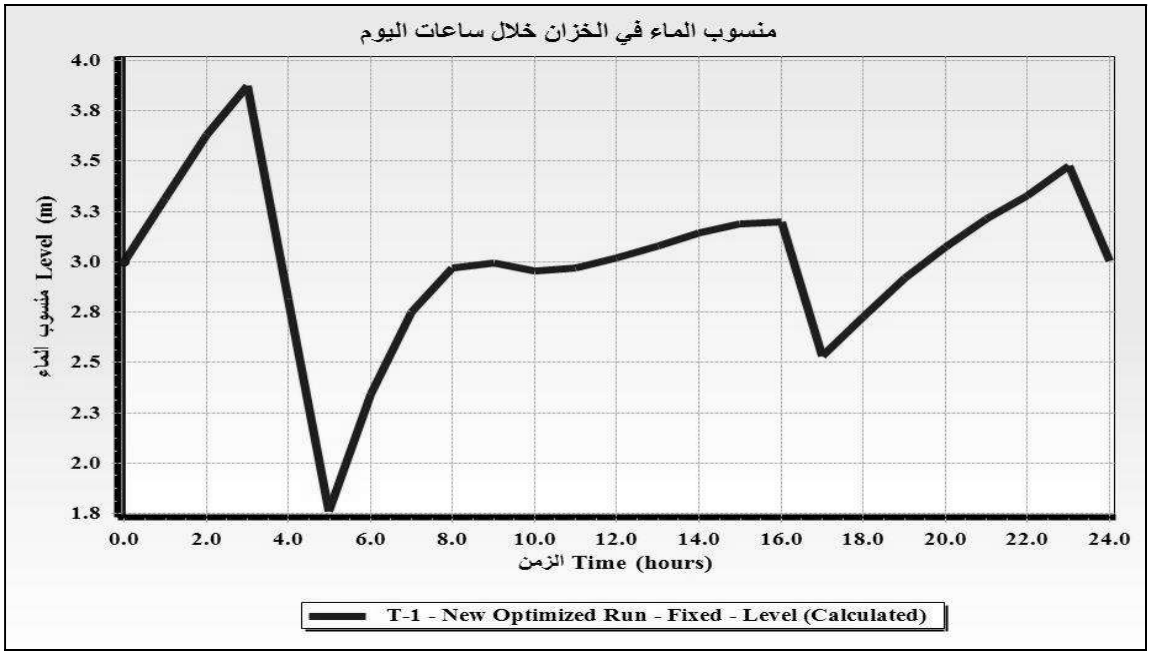
– تكلفة اختزان واحدة الحجم من الماء Cost Per Unit Volume: 9.2 ل.س/m^3.

– تكلفة المياه المختزنة (Cost (Daily: 14.57 ل.س.

– الطاقة اللازمة لضخ واحدة الحجم من الماء Energy Per Unit Volum: $0.102\ KWh/m^3$.

– الطاقة المختزنة Energy Stored: 0.2 KWh.

كما يبين الشكل رقم 8 تغير منسوب الماء في الخزان خلال ساعات اليوم أثناء التشغيل الأمثل للشبكة.



الشكل رقم (8): تغير منسوب الماء في الخزان خلال ساعات اليوم أثناء التشغيل الأمثل للشبكة.

نلاحظ من البارامترات المستنتجة للخزان، وتغير منسوب الماء فيه خلال اليوم أن منسوب الماء وحجمه في نهاية فترة الدراسة يساوي تقريباً إلى منسوب الماء وحجمه في بداية الفترة، وارتفاع الماء فيه تراوح بين (3.85 m – 1.8) وهي ضمن الحدود المسموحة، بالتالي الخزان المقترح إنشاءه مناسب والحجم المضخوخ من المياه والذي يبلغ ($1179.8\ m^3$) كافي لتغذية الشبكة بشكل مقبول خلال ساعات اليوم، مع إمكانية إيقاف كل مضخة عن العمل 6 ساعات وتغذية الشبكة من المضخات والخزان معاً دون النقص في تغذية الشبكة.

7-الاستنتاجات:

تم في هذا البحث تحسين استخدام الخوارزميات الجينية البسيطة في دراسة إدارة تشغيل شبكات المياه، وتلخصت النتائج بما يلي:

1– بنتيجة تطبيق الخوارزمية الجينية البسيطة استطعنا تحديد جدول تشغيل وإيقاف للمضخات (جدولة المضخات بشكل أمثل) التي تغذي الشبكة، وتحديد الحجم المائي المضخوخ خلال اليوم بما يضمن إيصال المياه للشبكة بشكل مستمر.

2– بيان فعالية استخدام خزان توازن لتغذية الشبكة عن طريق تحديد حالة الامتلاء للخزان حيث بلغ التغير في حجم الماء فيه قيمة صغيرة ($1,59\ m^3$) خلال مدة الدراسة، بالتالي إمكانية تغذية الشبكة من الخزان والمضخات معاً.

3– تحديد التكلفة الاقتصادية الاستثمارية الممكنة لتشغيل الشبكة بشكل أمثل بقيمة اقتصادية تبلغ (102798 ل.س) في اليوم، وطاقة كهربائية مستهلكة (1142 KWh).

4– للخوارزمية الجينية البسيطة أثر فعال في دراسة إدارة تشغيل شبكات مياه الشرب الكبيرة، والوصول إلى حل جيد ومقبول لتغذية الشبكة من الناحية الهيدروليكية والاقتصادية.

8-التوصيات:

1–الاستفادة من تقنيات الذكاء الصنعي ودراسة إمكانية استخدام أنواع أخرى من الخوارزميات في دراسة التشغيل الأمثل لشبكات مياه الشرب، ثم المقارنة فيما بينها واختيار الخوارزمية الأفضل والأكثر كفاءة.

2–الاستفادة من طرق الوصول للحلول المثلى لا سيما خوارزميات البحث العشوائي في دراسة المسائل التي تُعنى في وضع خطط مستقبلية لإدارة شبكات توزيع المياه والقطاع المائي.

9-المراجع:

1– عبد الجليل، إبراهيم، (2022م)، **النمذجة الهيدروليكية لشبكات مياه الشرب باستخدام خوارزميات الحل الأمثل ضمن إطار البرمجيات التكاملية**، كلية الهندسة المدنية، جامعة البعث، ص 243–50.

2- Ormsbee, L, E. & Kevin E. L., (1994), **Optimal Control of Water Supply Pumping Systems**, Journal of Water Resources Planning and Management, Vol 24, No.2, Pp237–252.

3– Wu, Z. Y, Larsen, R., WalsKi, T., Cook, (2002). **Optimal Capacity of Water Distribution Systems**, the 1 st Annual Environmental and Water Resources Systems Analysis(EWRSA) Symposium, May 19–22, Roanoke,VA, USA.

4– Schaetzen, W.B.F., Savic D.A. & Waltres, G.A., (1998), **A Genetic Algorithm Approach to Pump Scheduling in Water Supply System**. Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, 123, pp 60–79.

5– Wu, Z.Y. andWalski T (2005), **Self– adaptive Penalty Approach Com– pared With Other Constrain– handling Techniques for Pipeline Optimization**, J. Water Resour. Plann. Manage. 131 (3) 181–192., pp. 123–148.

6– Wu, Z.Y. and Walski, T (2006), **Computer Applications in Hydraulic Engineering**, Fifth Edition, Waterbury, Connecticut, Haestad Press.

7– K, D. (1998) **An Efficient Constraint Handling Method For Genetic Algorithm Technical Report**, Kanpur genetic algorithm laboratory, Department of Mechanical Engineering, Indian Institute of Technology Kanpur.

8–VUUREN.VAN. SJ, (2002) **Application of genetic Algorithms–Determination of the Optimal Pipe Diameters**, South Africa January. Pp 217–226.