# مقدمة

تقع سورية في المنطقة شبه الجافّة. ويُعدّ الوضع المائيُّ فيها صعباً وغير مستقرٍّ وغير كافٍ بشكلٍ عام، كون الهطول المطريّ فيها ضعيفاً نوعا ما، ويتغاير بشكلٍ كبيرٍ بين منطقةٍ وأخرى، حيث يتراوح معدّل الهطول بين 50 مم في منطقة البادية (التّنف)، و1200 مم في المنطقة الساحليّة. كما أنّ الأنهار الرئيسيّة التي تؤمّن جزءاً من الاحتياجات المائيّة المطلوبة، هي أنهار عابرة، وتخضع لعمليّة المحاصصة حسب الاتفاقيّات الدوليّة والإقليميّة. والاعتماد على المياه الجوفيّة، واستثمارها بشكلٍ جائرٍ سوف يؤدّي إلى كوارث مستقبليّة لا يحمد عقباها.

قاد هذا إلى التفكير جدّياً بمحاولة الاستفادة من كلّ قطرة مياه (هطولٍ مطريٍّ– ينابيع – أنهار). ومحاولة تخزينها، عبر إنشاء السدود والسدّات المائيّة، لتأمين الاحتياج المائيّ، سواء للشرب، أو الاستخدامات الزراعيّة، والصناعيّة، وغيرها .

تُعدّ المنطقة الساحلية المنطقة الأكثر هطولاً، وقد تمّ إنشاء أكثر من 14 سدّاً لتخزين حوالي 365 م م مكعب في محافظة اللاّذقية وحدها []، للاستفادة منها في أغراض الريّ والشرب بشكل مباشر، عن طريق محطّات تصفية، أو بشكلٍ غير مباشر، حيث يتمّ تخفيف الضغط عن المصادر المائيّة الصالحة للشرب، وتخصيصها لهذه لغاية فقط .

وبسبب النموّ السكانيّ والصناعيّ والزراعيّ والتوسّع العمراني، كان لابد من التفكير جدّياً بإدارة الطلب على المياه. وبما أنّ نبع السن شكّل المصدر الأساسي والأكبر لتغذية المنطقة الساحليّة بالمياه، وبسبب الغزارة الكبيرة لهذا النبع شتاءً (23 م مكعب/ثا)، وانخفاضها صيفاً إلى 3.5 م مكعب [مديرية الموارد المائية في اللاذقية]، حيث لاتعود تكفي حتّى للاحتياج المنزلي، تمّ اتخاذ خطوات رائدة في هذا المجال. حيث تمّ تنفيذ منظومة متكاملة للضخ الشتويّ (المشروع جاهز ويعمل). لتخزين هذه المياه في سدي الحويز(جاهز ويعمل)، وسد السخابة (قيد الإملاء)، وسد بيت ريحان (قيد الدراسة من أجل الضخ إليه من نهر السن). ولكنّ تأمين المياه اللازمة للاحتياجات السابقة وحده غير كافٍ، مالم يتم تأمين منظومة نقل سليمةً وفعّالةً لهذه المياه ، سواءً من المصدر الرئيسي إلى خزّانات التوزيع، أو من خزّانات التوزيع إلى المستهلك، عبر شبكة مياه المدينة، وتقليل الفواقد في هذه الشبكات، والتي تزداد بشكلٍ كبيرٍ في ساعات عدم الاستهلاك، عن طريق إجراء الصيانات

اللازمة. وإجراء المراقبات الدورية والصارمة لهذه المنظومة، واتّخاذ التدابير اللازمة لمنع التعدّيات عليها، ومن ثمّ الاستفادة من هذه المراقبات لتحسين مردوديّة الشبكة، عن طريق إضافة خزّانات توازن، لتجميع المياه الفائضة عن الاستهلاك لاستخدامها في ساعات الذروة، وتحديد المواقع التي يتطلّب فيها تركيب مضخّاتٍ إضافيةٍ، لتأمين المياه بالضاغط الكافي، ومواقع سكورة القطع اللازمة للتّحكم الأمثل بالشبكة، واستبدال الأنابيب القديمة والتالفة بأنابيب جديدةٍ، واستبدال الأقطار الصغيرة بأقطار أكبر، أو دعم الشبكة الحاليّة بشبكاتٍ موازيةٍ، لتأمين الطلب المتزايد. وتنفيذ الشبكات الإضافيّة للتجمعات الجديدة، حول التجمعات الموجودة.

والقيام بهذه الأعمال للاستفادة القصوى من منظومة شبكات المياه بأفضل توزيع، وبأقلّ التكاليف الممكنة، وبالموادّ والقطع المتوفّرة، يسمّى بـ (إيجاد الحل الأمثل لتوزيع المياه). من هنا تأتي أهمّية هذه الدراسة.

نظام توزيع المياه هو البنية التحتيّة الأساسيّة التي يتمّ عن طريقها إيصال المياه من المورد إلى المستهلك. منظومة شبكة المياه تتألّف بشكلٍ أساسيٍّ، من أنابيب ومورد مائي وخزّان تجميع (توازن)، وسكورة مختلفة (غسيل_ توزيع_تنفيس هواء _ مطرقة)، ومضخّات. عند تصميم هذه الشبكة يراعى:

1. نموذج الطلب على المياه ( سكني_ تجاري).
2. حدود الضغط العليا والدنيا المطلوبة في كلّ عقدة.
3. حدود السرعة العليا والدنيا المسموحة في كلّ أنبوب.
4. الحفاظ على نوعيّة للمياه وصيانة هذه الشبكة بأقلّ التكاليف.

**إنّ تحقيق مجموعة هذه الشروط بأقلّ التكاليف الممكنة يسمّى بـ ( الحلّ الأمثل).**

إنّ محاكاة السلوك الهيدروليكي لشبكة المياه، مع تحقيق الضغط المطلوب خلال النظام الحلقي، عملية معقدة. وهي تعني حلّ عددٍ من المعادلات غير الخطيّة، وتقدّم الحلّ يتضمّن الأخذ بالحسبان وبشكلٍ متزامن معادلات الطاقة والاستمراريّة. وتابع الضياعات الرأسيّة، حتّى ضمن الشبكات ذات عدد العناصر الصغيرm (حوالي 15 أنبوباً تتضمن مضخات _ خزانات و سكورة). فإنّ هنالك عدداً كبيراً من الحلول، وذلك حسب الأنابيب المتوفرة ونوعها وسعرها. ولكن بشكل تقليدي، فإنّ تصميم شبكة مياه الشرب يعتمد بشكل أساسي على خبرة المصمم. إنّ معظم الحلول التي وضعت أخذت بالحسبان تغيير قطر الأنابيب فقط كمتغير تصميم، للوصول إلى السعر الأفضل اقتصادياً،

والذي يحقّق الشروط الابتدائيّة المطلوبة (ضاغط _ سرعة_ غزارة في العقد). في مثل هذا النوع من التطبيقات، فإن خبرة المصمّم والكلفة وفترة التصميم، تُعدّ مهمّة جدّاً. ونجاح التطبيق محكوم على الغالب بهذه المعايير. بسبب عامل الزمن، الذي يحكم الكلفة (أي أنّ كلفة التصميم قد تكون دنيا وتحقّق الشروط المطلوبة. ولكن بعد عدّة سنوات يصبح هنالك خللٌ في الشروط الطرفيّة. ونحتاج عندها لكلفةٍ إضافيّةٍ غير محسوبة، لتدارك هذا الخلل). عادةً ما يكون الحلّ ذو الكلفة الاقتصاديّة الأقلّ، ليس الحلّ الأمثل. ولهذا السبب، ولكون الشبكات تحتاج لموازنةٍ ماليةٍ كبيرةٍ جداً. اتّجه الباحثون للبحث عن تقنيّاتٍ جديدة لإيجاد الحلّ الأمثل، الذي يحقّق الكلفة الأقلّ، والديمومة الأطول، مع الحفاظ على الشروط التصميميّة. كان من بينها تقنيّات تعتمد على جملة معادلات خطيّة ولا خطيّة، ومعادلات عدديّة. حيث تم التطرق لطرق الأمثلة المختلفة في الفصل الأول، كما سنقوم من خلال هذا الفصل باستعراض بعض أهمّ الأبحاث التي عنيت باستخدام عمليّة الأمثَلَة في حلّ الكثير من مسائل التزود بالمياه على المستوى العالمي والعربي والمحلي.

في هذا البحث، سنقوم بإيجاد الحلّ الأمثل الذي يتضمّن إيجاد الحلّ ذي التكلفة الأقلّ تبعاً لأسعار الأنابيب، مع الأخذ بالحسبان قيود الضاغط والسرعة المطلوبين، وتحقيق الاحتياج المائيّ المطلوب في كلّ عقدة. وبما أنّ إيجاد الحلّ الأمثل لنظام توزيع المياه يعتمد على تحقيق بارامتراتٍ غير مرتبطةٍ خطيّاً فيما بينها، فان ذلك سيؤدّي لظهور بعض السلبيّات والصعوبات. بعض الطرق مثل طرق التحليل العدديّ والحركيّ أخذت وقتاً طويلاً جدّاً في الحساب، واحتاجت إلى كمبيوتر بطاقاتٍ عالية. مؤخّراً: تمّ الاعتماد على طريقةٍ جديدةٍ لإيجاد الحلّ الأمثل، تدعى الخوارزميّات الجينيّة Genetic Algorithm . وهي تقنيّة ناجحة، اعتمدت على نظريّة داروين في التطوّر. وهذه الطريقة استخدمت التقنيّة نفسها التي استخدمت في عملية التطور، من حيث الاعتماد على الجينات والكر وموسومات، والتزاوج لإنتاج الأجيال الجديدة. سيتّم شرح هذه الطريقة بإسهاب في الفصل الثاني. أمّا الهدف من هذه الدراسة، فهو إيجاد الحلّ الأمثل لتوزيع المياه باستخدام تقنيّة الخوارزميّات الجينيّة. وكحالة دراسة، سوف تطبّق هذه التقنيّة على شبكة مياه الشرب في المشروع العاشر باللاذقية، بعد تحويل هذه الشبكة إلى شبكة حلقية، وتحديد الاحتياج المائي لكلّ عقدةٍ، وتحديد غزارة المصدر المائيّ، وتحديد مواقع خزّانات التوازن إذا لزمت، وسكورة التوزيع، وسكورة الضغط، ونقاط التغذية للتوسع المستقبلي. وتحديد القيود الطرفيّة (ضاغط وسرعة) المطلوبة. كما هو موضّح في الفصل الثالث. ومن ثم تطبيق هذه التقنية من خلال برنامج WATERGEMSعلى شبكة المشروع العاشر الموجودة حالياً، والمعدّلة حسب التوضّع الحلقي المفترض. ثم سنقوم بعد ذلك

بأجراء عملية الأمثَلَة من خلال تقنيّة (Darwin Designer). التي تعمل من خلال البرنامج المذكور. ومناقشة النتائج التي حصلنا عليها من خلال كل سيناريو للحل، كما هو موضّح في الفصل الرابع.

تقع الرسالة في 130 صفحةً، موضّحة بالأشكال والمخطّطات والجداول. تتضمّن مقدّمةً وأربعة فصول وملحقا بجداول النتائج لكل سيناريو، وقائمةً بالمصطلحات العلمية الواردة في النص باللغتين العربيّة والإنكليزيّة، وثبتاً بالمراجع، إضافةً إلى ملخّص باللغة العربية وآخر بالإنكليزية.

تمّ إعداد مقالة بعنوان " الحل الأمثل لتوزيع مياه الشرب باستخدام تقنية الخوارزميات الجينية " وقُبلت للنشر في مجّلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية بتاريخ.2012/6/4

☆☆☆

# الفصل الأول

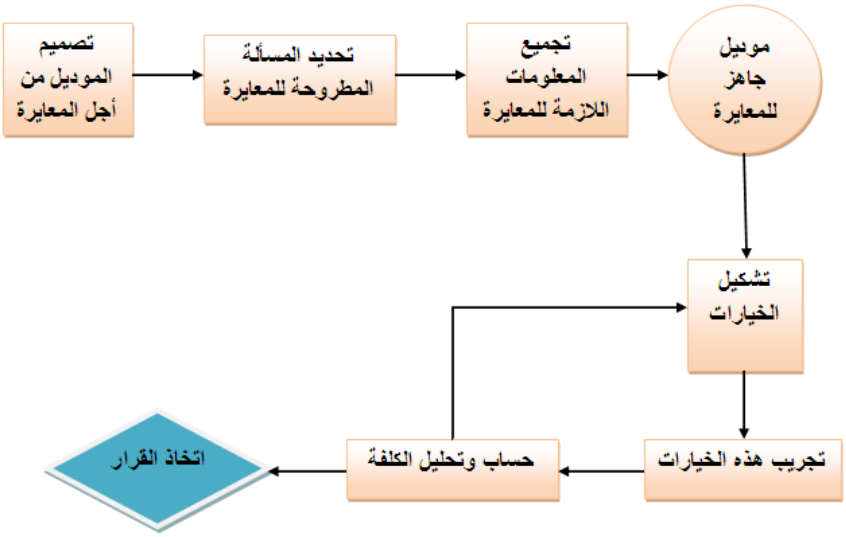
# الدراسات المرجعية

# The Referential Studies

## 1.1 مقدمة:

إنّ إيجاد الحلّ الأمثل لتوزيع المياه ضمن شبكات المياه يعني إيجاد أفضل حلّ لمشكلة نظام توزيع المياه من بين مجموعة الحلول الممكنة، التي تحقق التابع الهدف. هذا الحل الذي يتضمن عادة: تصميم الشبكة – توزيع الخزانات – توزيع المضخات – ..... وفي الشبكات القديمة يتضمن إضافة وتغيير بعض الأنابيب والمضخّات والسكورة، وإضافة خزّانات جديدة، حيث يحقّق أقلّ كلفةٍ ممكنةٍ.

وتتّخذ عمليّة إيجاد الحل الأمثل عادةً السلسلة التالية: شكل (1−1)،[1]




الشكل (1−1): خطوات إيجاد الحلّ الأمثل.

قبل القيام بذلك، يجب على المهندس القيام بتطوير الموديل الذي يحاكي الشبكة، والذي يعطي تنبؤاً بسلوك الشبكة تحت شروط وظروف متغيرةٍ. تتطلّب المعايرة جزء من الموديل المطور، الذي يمكن أن يدار بواسطة إحدى تقنيّات الأمثلة (إيجاد الحل الأمثل). عندما يصبح النموذج الممثّل للمشكلة جاهزاً لتحليلها، يبدأ المهندس بتشكيل الخيارات. والخيارات هي عبارة عن حلول مختلفةٍ تختلف باختلاف المدخلات بشكلٍ متكرّرٍ إلى النموذج (الموديل). ويتم التجريب عند كلّ مُدخلٍ، ومن ثمّ حساب كلفة هذا الخيار(الحل). بعد ذلك، يصار إلى تمثيل جميع هذه الحلول، ليصار إلى اتّخاذ القرار المناسب. والذي يمثّل عادةً الحلّ الذي يحقّق القيود الطرفية الموضوعة، وبأقلّ التكاليف الممكنة.

**إنّ** الغاية من تشغيل النموذج مرّاتٍ كثيرةٍ، ضمن شروط ومدخلاتٍ متغيرةٍ، هو اختيار الحلّ الأمثل من بين هذه الحلول. وعندما يكون حجم الموديل كبيراً (عدد العناصر المكونة له كبير)، يصبح إيجاد هذا الكم الهائل من الحلول صعباً جداًّ، وبالتالي نحتاج لوقتٍ وجهدٍ كبيرين، وكلفةٍ إضافيةٍ. وبالتالي يصبح اختيار طريقة الأمثَلَة التي تستطيع التعامل مع هذا الكم الهائل من الحلول في وقت قصير، هي الطريقة المطلوبة للعمل. **إنّ** أوّل تصوّر تم وضعه **لتبيان** كيفية تطبيق تقنية الأمثَلَة، تمّ من قبل:(1971) de Neufville, Schaake, and Stafford . والقواعد العامة التي وضعوها لاتزال تستخدم حتى الآن.[2]

بين (1989) Thomas M. Walski ورفاقه أن مفهوم عملية الأمثلة.تتضمن إيجاد **أكبر أو أصغر قيمةٍ للتابع الهدف** (Objective Function)، تبعاً للشروط الطرفيّة المعطاة .كما قاموا بتعريف مصطلحات الأمثلة Optimization Terminology على الشكل الآتي:

**1- التابع الهدف: Objective function**

عند القيام بوضع مجموعة من الحلول للوصول للحل الأمثل، لابد من تقييم مدى جودة هذه الحلول، لذلك نستخدم التابع الهدف، ويمكن أن يكون لدينا أكثر من تابع هدف. وقد يكون لدينا تابع هدفٍ بمجموعة متغيرات.

**2- متغيرات التصميم: Design Variables**

من أجل تحسين أداء المنظومة فإن البارامترات التي يمكن أن تتغير يجب أن تكون معرّفةً، والقيم التي يمكن أن تأخذها هذه البارامترات تدعى متغيّرات التصميم، ويجب أن يزوّد بها النموذج

المدروس. (في حال شبكة الأنابيب يمكن أن يكون قطر الأنبوب هو المتغيّر، وبالتالي يجب أن يزوّد النموذج المدروس بجميع الأقطار المتاحة للاستخدام).

**3- القيود: Constraints**

عند محاكمة أي نموذجٍ، والحلول التي تمّ وضعها، يجب الأخذ بالحسبان الحدود أو القيود التي يجب تشغيل النظام ضمنها وعدم تجاوزها. وتصنّف هذه الشروط إلى شروط صلبةٍ (لا يسمح للنظام بتجاوزها لأن ذلك يعرض الشبكة للخطر)، مثل الضغط الأعظمي ضمن الأنابيب. وشروط لينة (الضغط الأصغري في كل عقدة )[1]، والتي يمكن أن تضاف كقيمة سالبة إلى معادلة التابع الهدف. حيث يقلل تأثيرها من قيمة التابع الهدف، وبالتالي من جودة الحلّ. كما أنّ هنالك شروطاً معلنةً (مثل أقطار الأنابيب المتوفّرة)، وشروطاً ضمنيةً (مثل مجموع الضياعات في كلّ حلقةٍ يجب أن يكون مساوياً للصفر).

كما أوضح (1989) Walski أنّ عمليّة الأمثلة يجب أن تتضمّن الخطوات التالية:

1- اختيار مجموعة متغيّرات التصميم: لوصف الخيارات التي يمكن من خلال إعطائها قيماً متغيّرةً الحصول على حلول جديدةٍ .

2- اختيار التابع الهدف أو مجموعة التوابع الهدف: من أجل تقييم جودة الحلول المتاحة.

3- تحديد القيد المطلوبة (الصلبة واللينة).والتي يجب أن تكون محقّقةً ضمن أي حلٍّ مقبولٍ.

4- تحديد مجموعةٍ من القيم لكلّ متغيّرٍ: (مثلاً: الأقطار المتوفّرة، وسعر المترِ طوليٍّ من قطرٍ معيّنٍ).

كما بيّن T. M. Walski أنّ مسألة إيجاد الحل الأمثل في أغلب أنواع النماذج الرياضية، والتي تحقّق العناصر السابقة للمسألة المطروحة، تُعطى كالتالي:

$$F = \max f(x).$$
$$g(x) \leq 0$$
$$h(x) = 0$$
$$x \in X$$

حيث: $f(x)$: التابع الهدف.

**x**: متغيّر التصميم. g ,h : قيود طرفية.

## 2-1 لماذا نستخدم الأمثلة: Why Use Optimization

يعتقد أغلب المصمّمين أنّهم ينتجون نماذج جيدةً، أي أنّها تملك تقييماً جيّداً بالنسبة للكلفة. ولكن من النادر بالنسبة للمصمّم أن يجد الوقت والمصدر اللازمين لإيجاد سوى كميةٍ قليلةٍ من الحلول للمسألة المطروحة.

في مرحلة التخطيط للمشروع يكون لدينا عادةً مجموعةً كبيرةً من الخيارات لكلّ جزءٍ من مكوّنات المشروع، لذلك فإنّ عدد الحلول للمشروع ككل سيكون كبيراً جدّاً، و يمكن أن يكون عددُ غير منتهٍ. حتّى في المراحل الأخيرة من المشروع، يمكن أن يكون هناك عدد كبير من الحلول. ولشرح حجم هذه الحلول، يمكن أن نفترض أنّ هناك شبكة مؤلفة من عشرة خطوط، وكلّ خطٍ يمكن أن يأخذ قطراً من جدولٍ مؤلّفٍ من عشرة أقطارٍ متوفرةً في السوق المحلية، فإنّ عدد الحلول سيكون $\mathbf{10^{10}}$ = (10,000,000,000). ماذا سيحدث إذا كانت المسألة "الشبكة" أكثر تعقيداً كما هي الحالة الشائعة؟؟. لابدّ هنا من الاعتماد على خبرة المهندس، الذي يقلّب الحلول، و يحاول بخبرته اختيار مجموعةٍ من الحلول التي تمثّل فضاء العيّنة، ومن ثمّ تقييم كلفة هذه الحلول، ليصار إلى اختيار الحلّ ذي الكلفة الأقلّ، ليكون هو الحلّ الأمثل.

إن حجم المسألة المقدّمة "النموذج" لايحدّد بمفرده فعاليّة اختيار الحلّ الأمثل، بل إنّ سلوك نموذج الشبكة اللّاخطي يساهم في ذلك أيضاً، حيث إنّ أيّ تغييرٍ يطرأ على أيٍّ من محتويات الشبكة سوف يؤثر على أداء الشبكة، ومن الصعوبة ربط السبب بالنتيجة.

يمكن لأغلب المصمّمين أن يحصلوا على مجموعةٍ من الحلول التي تحقّق المعايير و القيود الطرفية، لكنّه من الصعب قيادة تلك الحلول بالطريقة اليدوية، للحصول على الحل ذي الكلفة الأقلّ. تعدّ تقنية الأمثلة ناجحةً إلى الحدّ الذي يمكن عنده حساب كلّ المتغيّرات المهمّة للمسألة المقدّمة، وبعد ذلك عندما تواجه المسألة المقدّمة، بعض الأمر غير الموضوعية "الفردية" مثل عدم ثبات الاحتياج ضمن المشروع، يصبح من الصعب بمكانٍ محاولة إيجاد الحلّ الأمثل، دون اللجوء إلى أحد البرامج الحاسوبية الذي يدعم هذه التقنيّة، حيث لا يمكن تحقيقها عن طريق التجريب، وإسقاط الحلول الخاطئة يدوياً.

## 1-3 كيف نستخدم الأمثلة: How To Use Optimization

في كل مسألة مقدّمة للحلّ يوجد طرفان أساسيان: الأول هو المصممون، والثاني هو صانعو القرار. يقوم المصممون بوضع مجموعة من الحلول مع كلفة كل حل، والتي يرتؤون أنها مجموعة الحلول المثلى ويقدمونها إلى صانعي القرار، لاختيار الحل المناسب من بين هذه الحلول. تساعد تقنية إيجاد الحل الأمثل في تقديم هذا الحل من قبل المصممين إلى صانعي القرار.

إن عملية الأمثَلَة تستخدم لدعم القرار وليس لصنعه. ويجب أن لا تكون بديلاً عن عملية صنع القرار[1].

## 1-4 استخدام التابع الهدف الوحيد لإيجاد الحل الأمثل: Singl Objective Optimization

كثير من المشاكل التي تعترض المهندسين المصمّمين أو الدارسين أو صانعي القرار هي مسائل تحقق العديد من الأهداف كـ (تخفيف الأخطار، زيادة الموثوقية، تصغير الانحراف عن الهدف المرغوب به، تقليل الكلفة للإنشاء والصيانة). على أيّة حالٍ فإنّ التمثيل الرياضيّ لمسألة الأمثَلَة و المعطاة بالعلاقة: Max f(x)، تعدّ مسألة أمثلةٍ بمتغير وحيد هو (x)، وتابع هدف وحيد هو f(x) والذي يهدف لإيجاد أكبر قيمةٍ "تقييمٍ" للحلّ. مع تحقيق الشروط الطرفيّة المطلوبة.

عملياً، يعاد تشكيل المسائل المرتبطة بتحقيق مجموعة توابع هدف كتابع هدف وحيد، مع تحويل بقية التوابع إلى شروط طرفيةٍ. أو يتمّ جمع هذه التوابع بتابعٍ وحيدٍ فيه تابع رئيسي، وبقيّة التوابع تضرب بعوامل تثقيل. عندما يتم تحويل مجموعة التوابع لتابع هدف وحيد، يجب أن تكون جميع التوابع مصممة لدعم وتنفيذ تابع هدفٍ وحيدٍ. ولتوضيح ذلك نعدّ المثال التالي بتابعي هدفٍ في مشكلة اختيار أفضل الأقطار للأنابيب المكونة لشبكة مياه. وهذان التابعان يعرّفان كالتالي :

1- تصغير الكلفة: $\min(f_1)$

2- تحقيق أكبر فائدة: $\max(f_2)$

في هذه الحالة يمكن أن نحوّل التابع الثاني إلى تابع تصغيرٍ على الشكل التالي:

$$\max(f_2) = \min(-f_2) = \min(f'_2)$$

وبالتالي يصبح التابع الهدف :

$f=\min(f_1)+\min(f'_2)$

ولكن تحقيق التابع الهدف الذي يحدد تسلسل الأهمية للتوابع الهدف المشاركة فيه يتم بالشكل المطلوب بعد ضرب هذه التوابع بعوامل تثقيل فيصبح :

$f=\max(w_1*f_1+w_2*f'_2)$.

وهذا الربط ممكن لأنّ الواحدة التي يتمّ بها التقييم لكلا التابعين هي نفسها، (واحدة الكلفة).

هذا النوع من التحويل واستخدام تابع هدف وحيد للحصول على مجموعةٍ الحلول، وتحديد الحل الأمثل، يفيد صانعي القرار في الفهم العميق لطبيعة المشكلة. لكن ليس من السهل تزويد صانعي القرار بمجموعة من الحلول التي تخدم مجموعة من الأهداف المتعارضة مع بعضها. وهنا يجب الاعتماد على حل المسألة بواسطة مجموعة توابع هدف.[1]

## 1-5 إيجاد الحل الأمثل بوساطة مجموعة توابع هدف: Multi objective optimization

إنّ مبدأ الأمثلة بوساطة مجموعة التوابع الهدف يختلف عن مبدأ استخدام تابع هدفٍ وحيد. والاختلاف الأساسي هو أن التفاعل بين مختلف الأهداف يعطي قيمةً كبيرةً للحلول المُرضية، والتي تحقّق جميع الأهداف، والتي تعرف بـ : trade off, Nondominated , no inferior ,or pareto_optimal solution أي الحلول المثلى غير الدنيا،غير السائدة"الغالبة"-غير المتعادلة[1].

مثلاً: إذا كان لدينا مسألة مقدّمة بتابعي هدف، ولدينا مجموعة الخيارات A,B,C,D

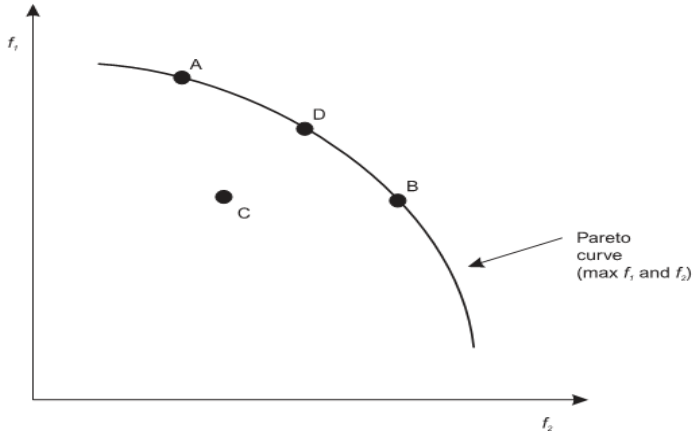
فإنّ الخيار/ c/محكومٌ ومسيطرٌ عليه من قبل الخيار /D/ يحقّق قيمةً أعلى لتابعي الهدف f1,f2 ،الخيارين A,B ينتميان إلى نفس منحني الحلول المثلى غير المتكافئة pareto _ optimal solution وغير مهيمنٍ عليها من قبل أيّة حلول أخرى. وعند الانتقال من حل لآخر، ليس من الممكن إجراء تحسين على أحد الأهداف دون جعل الهدف الآخر سيئاً. الشكل (1-2).

يرى Cohon (1978) أنّه عند الأخذ بالحسبان إيجاد الحل الأمثل بواسطة مجموعة التوابع الهدف في مرحلة التصميم، أو في مراحل التخطيط، فإن عملية صنع القرار سوف تُزوّد بثلاثة تحسيناتٍ أساسيةٍ:[3]

1- يمكن تعريف مجال واسع من الخيارات عند استخدام طريقة مجموعة التوابع الهدف.

2- الأخذ بالحسبان طريقة مجموعة التوابع الهدف يعطي وظائف مناسبةٍ بشكلٍ كبيرٍ للمشاركين في عمليّة صنع القرار، أو التخطيط. حيث يستطيع المصمّمون إنتاج خيارات حلولٍ أكثر، ومن ثمّ تقديمها إلى صانعي القرار، الذين يستخدمون هذه الحلول لاتخاذ قراراتٍ أكثر صواباً.

3- النماذج الممثلة للمشكلة سوف تصبح أكثر واقعية.




الشكل(2-1): منحني الحلول المثلى.

## 1-6 تطبيقات إيجاد الحل الأمثل : Applications of Optimization

يوجد الكثير من المشاكل في نظام توزيع المياه يمكن أن نطبّق عليها عمليات الأمثلة. (أي يمكن أن تقدَّم كمسألةٍ من مسائل إيجاد الحلّ الأمثل). نستعرض في ما يلي بعض العمليات التي يمكن أن تجد حلولاً مثلى لها باستخدام تقنية الأمثلة:

1- **المعايرة الحسابية:** قبل استخدام النماذج الهيدروليكية المحاكية لنظام توزيع المياه لأغراض التنبؤ المسبق بأي درجة مصداقيةٍ، يجب أن يتمّ تجريب الموديل و مقارنته بالقياسات الحقليّة، ويمكن استخدام عملية الأمثلة و باستخدام تابع هدف يربط بين القيم المحسوبة للموديل والقيم المقاسة على أرض الواقع، ومحاولة إيجاد الحل الأمثل للبارامترات المطلوبة

الحصول على القيمة الأصغر لتابع الهدف، والذي يعني اقتراب القيم المحسوبة من القيم المقاسة.

2- **اختيار موقع التجارب الحقلية في نظام توزيع المياه:** من أجل جمع المعلومات التي ستستخدم في المعايرة وتدعى Sampling Design For Calibration . (تصميم النموذج من أجل المعايرة ) حيث يكون التابع الهدف هنا زيادة الدقة أو تقليل كلفة أخذ العينات. وهنا يتمّ تحديد الموقع الأمثل لأخذ العيّنات (المراقبات) التي تحقق الهدفين السابقين.

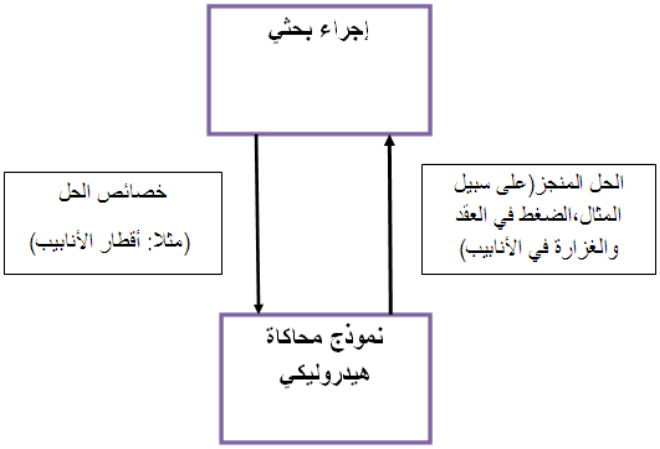
3- **الحل الأمثل لعمليّة التشغيل:** من أجل الحصول على أفضل تشكيلٍ لمكوّنات الشبكة و خاصّةً الضخ من أجل تقليل استهلاك الطاقة و بالتالي الكلفة. وهو التابع الهدف الذي يقيّم الحلّ في هذه الحالة.

4- **التقييم – التوسّع في التقييم:** عند التقييم الجديد أو التوسع في الشبكات القديمة يتم عادة حساب كلفة التقييم، وعدّها كتابع هدفٍ min f(x) . و يدخل في ذلك بشكل أساسي كلفة الأنابيب حسب أقطارها، وكلفة محطات الضخ كتابع هدفٍ، مع الأخذ الحسبان توضّع الشبكة، والناقلية، والضياعات الأساسية، والسرعة في الأنابيب، حيث يجب أن تكون محددةً. بالإضافة إلى أهداف أخرى محتملةٍ مثل (الواقعية–الموثوقية–الوفرة – نوعيّة المياه).يمكن أن تتضمّن ضمن عملية الأمثلة. وبسبب الصعوبات في إدخال كلفة المضخات و الخزانات تاريخيا جعلت جميع الباحثين يلجؤون إلى تحويل مسألة الكلفة إلى تابع هدفٍ وحيدٍ هو كلفة الأنابيب المستخدمة.

## 1-7 طرائق الأمثلة: OPTIMIZATION METHODS

إنّ مجال البحث عن الحل الأمثل يتمّ باستخدام الطرائق التحليلية واستخدام البرمجة الخطية والبرمجة اللاخطية والبرمجة الحركية إلى مجالات كثيرةٍ للبحث .إنّ أكثر طرائق البحث تطوّراً هي تلك التي تحاكي التطور الطبيعي في مقاربتها ومنهجها لإيجاد الحلّ الأمثل وهذه التقنيّات تسمّى الطرائق التكيفية Adaptive Search Methods. وأهمّ هذه الطرائق ما يعرف بتقنية الخوارزميات الجينية (Genetic Algorithms)، والتي تحاكي عملية التطور والاصطفاء الطبيعي. وقد تمّ استخدامها بنجاحٍ كبيرٍ لإيجاد الحل الأمثل لتوزيع المياه ضمن شبكات المياه.

يرينا الشكل(1−3) كيف تتمّ تقنيّة البحث من خلال عملية الأمثلة والمرتبطة بنموذج محاكاةٍ هيدروليكيٍ . في هذه الحالة إنّ قياس قطر الأنابيب في منظومة توزيع المياه هي مسألة الأمثلة المقدّمة، التي يجب أن يتمّ تحقيقها من خلال هذا النموذج. مثلا، يتمّ دراسة الشبكة وإعطاء قطرٍ للأنابيب (أي اختيار قطر لكل أنبوب ومن ثم يتم ضمنيا تحقيق معادلتي الطاقة والاستمرارية في كل مرة يتم فيها تغيير القطر)، من أجل الحصول على الشروط المطلوبة (الضاغط في العقد، السرعة في الأنابيب، زمن الوصول،...). تبدأ العملية عادةً بإنتاج حل أو أكثر (مثلا: تزويد قطر لكل أنبوب). من ثم يتم تجريب كل حل من خلال هذا الموديل، لحساب الضاغط والغزارة في منظومة التوزيع، وتقييم هذا الحل من حيث الكلفة، ومن حيث تحقيقه للشروط المطلوبة. بعد تقييم الحل يتمّ بالطريقة نفسها إنتاج حلول جديدةٍ، وتجريبها وتقييمها بشكلٍ متتالٍ، حتّى الوصول إلى مقاربةٍ مقبولةٍ للمعايير المطلوبة.




الشكل(1−3): عملية أمثلةٍ مرتبطةٍ بنموذج محاكاةٍ هيدروليكي

## 1−7−1 إيجاد الحل الأمثل بالطرائق التحليلية: Analytical Optimization

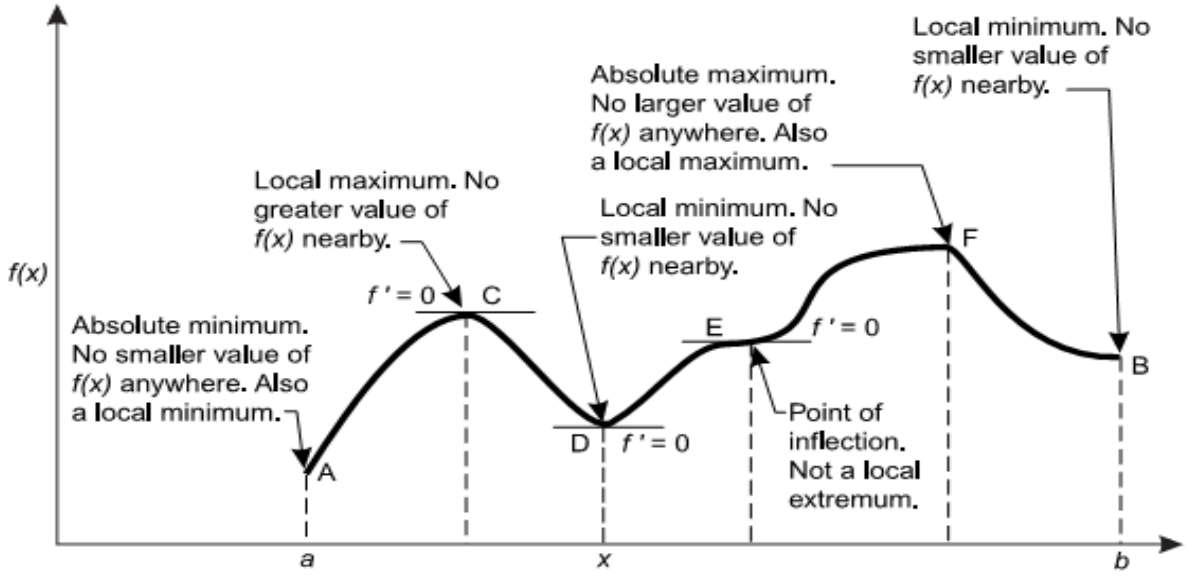
بين كلا من (Finney, Weir, and Giordano، (2001). كيفية استخدام الطرائق التحليلية لأيجاد الحلّ الأمثل.حيث تتمّ بوساطة هذه التقنية الحصول على الحلّ الأمثل بخطواتٍ حسابيةٍ. وفي ظلّ عدم وجود قيودٍ، حيث تكون المشكلة مطروحةً من خلال معادلةٍ تمثّل التابع الهدف. وبشكلٍ مغايرٍ لتقنيات البحث الأخرى، فإنّ هذه الطريقة يمكن أن تعمل كتقنيّة بحثٍ غير محدّدةٍ بقيود

طرفيةٍ. لذلك فهي مهمةٌ لتطوير طرائق البحث الأكثر تقدماً، وكما أنّ معظم عمليات الأمثلة بوجود شروط طرفيةٍ هي مطوّرة من عمليات أمثلةٍ غير مشروطةٍ، لذا فإنّ تقنية إيجاد الحلّ الأمثل التي تحقّق مجموعة توابع هدفٍ، تنطلق من خوارزميةٍ ناجحةٍ لإيجاد حلٍ أمثل لتابع هدفٍ وحيدٍ، حيث يتمّ من خلال هذه العملية رسم المنحني الممثل لمعادلة التابع الهدف $f(x)$ بالطرائق التحليلية المعروفة، حيث يتمّ رسم المنحني الممثل للعلاقة بين المتغيّر $x$ والتابع $f(x)$، من ثمّ تعيين النقاط التي تكون فيها قيم $f(x^*) \leq f(x)$ وذلك مهما تكن $x^* \in X$ . حيث : $X$ هي مجموعة القيم المتاحة للمتغير $x$. تمثل هذه النقاط نهاياتٍ محليةٍ عظمى أوغير محليةٍ حسب المجال المحدّد، والتي تمثّل الحلّ الأمثل للمشكلة المعتمدة. الشكل(1−4). بمعنىّ أخر إذا كان المشتقّ الأول للتابع عند نقطةٍ ما من الخط البياني الممثّل له مساوياً للصفر، وكانت قيم المشتقّ الأول حول هذه النقطة من أجل قيمٍ أصغر لـ $x$ سالبةً ومن أجل قيم أكبر لـ $x$ موجبةً تكون النهاية المحلية صغرى، أي أصغر قيمةٍ للتابع $\min f(x)$. والعكس بالعكس، كما هو موضح بالشكل(1−5).

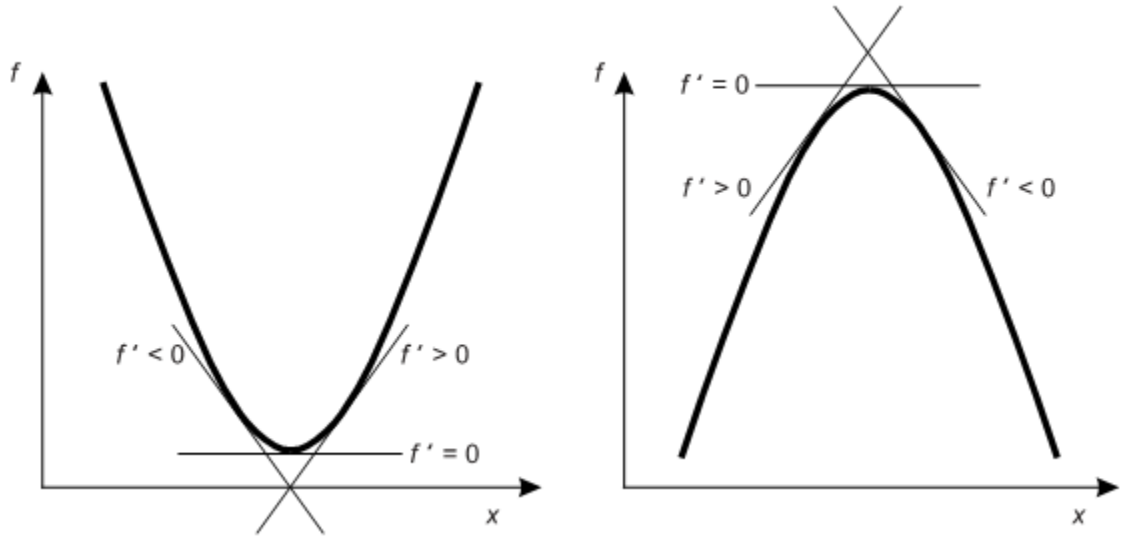
في حال كون المسالة المقدّمة يجب أن تحقّق عدّة توابع هدفٍ، أو تابع هدفٍ وحيدٍ مع وجود قيود طرفيةٍ، فيتمّ اختيار أحد هذه القيود أو التوابع ليكون هو التابع الهدف، مع بقاء الشروط الأخرى قيوداً طرفيةً، وتحويل التوابع الهدف الأخرى أيضاً إلى قيود طرفيةٍ. وتتم هذه المقاربة بطريقتين:

1− أن يتمّ تهيئة وتكييف الطرائق التي طُوّرت من أجل المسائل غير المشروطة، لحلّ المسائل المشروطة.

2− والطريقة الثانية: هي في معالجة القيود الطرفية كجزءٍ من المشكلة.




الشكل (1−4): تعيين الحلول المثلى كنهايات محلية تحليليا




الشكل (1−5): الحل الأمثل للحل المطلوب تحليلياً بطريقة الاشتقاق.

استخدمت هذه الطريقة في الربط بين التوابع الخطية والشروط الخطية فيما يعرف بالبرمجة الخطية. Liner programming .

كما قام كلاًّ من Hillier and Lieberman(1995)؛ Wagner, (1975).بإيجاد الحلّ الأمثل بالطرائق التحليلية باستخدام معادلة تابعٍ هدف بمتغيرٍ وحيدٍ أو تابع هدفٍ بمجموعة متغيراتٍ، ولكن بدون شروط طرفيةٍ.

طبّقت الطرائق التحليلية بنجاحٍ في مجال شبكات المياه. حيث قام Camp (1939) بتطبيق عملية الأمثلة لإيجاد كلفة الشبكة تبعاً لكلفة الأنابيب المتوفرة[4]. كما طبّق العديد من الباحثين Swamee and Khanna(1974), Dancs (1977)، Bhave(1983), Cowan (1971), and Watanatada (1973 مقارباتٍ مشابهةٍ. .لكن تبيّن أنّ الطرائق التحليلية جيدة من أجل شبكات مياهٍ بمسائل أمثلةٍ بسيطةٍ كقطر الأنابيب فقط، لكنّه ومن أجل نظام توزيعٍ أكثر تعقيداً تصبح هذه الطرائق غير عمليّةٍ.[1]

## 2-7-1 البرمجة الخطيّة (LP) : Linear Programming

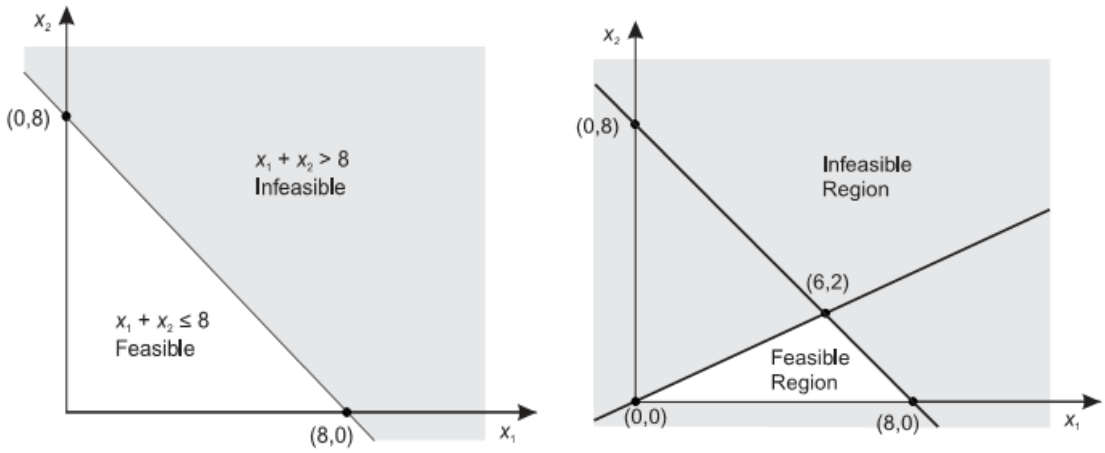
تشير هذه التقنية إلى مسائل إيجاد الحل الأمثل التي يكون فيه كلٌّ من التابع الهدف والقيود الطرفية عبارة عن توابع خطيةٍ (أي أن المتغير الأسيّ يساوي الواحد) .

قدم كلا من Hillier and Lieberman (1995) and Wagner (1975) شرحاً مفصلاً لطريقة إيجاد الحلّ الأمثل عن طريق مجموعة التوابع الخطية الممثلة للمسألة المطروحة. يمكن تصوّر مفهوم استعمال البرمجة الخطية للوصول إلى الحل الأمثل كتسلّق جبلٍ ميول منحدراته مستقيمة، والمطلوب دائماً هو الوصول إلى الذروة. على الرغم من أنّ جميع المسائل المتعلقة باتخاذ القرار هي من النوع غير الخطي. إلّا أنّه لابدّ من فهم المبادئ الأساسية للبرمجة الخطية، لفهم طرق حلّ المسائل اللاخطية والتي طوّرت أساساً منها. لنفترض في المثال التالي أنّ لدينا تابع هدفٍ مع القيود الطرفية، وجميعها توابع خطيةٍ (من الدرجة الأولى بالنسبة للمتغيّر).

$$Max\ f(x) = {}^{\text{ع}}x1 + 5x2$$
$$x1 + x2 \leq 8$$
$$x1 + 3x2 \geq 0$$
$$x1 \geq 0$$
$$x2 \geq 0$$

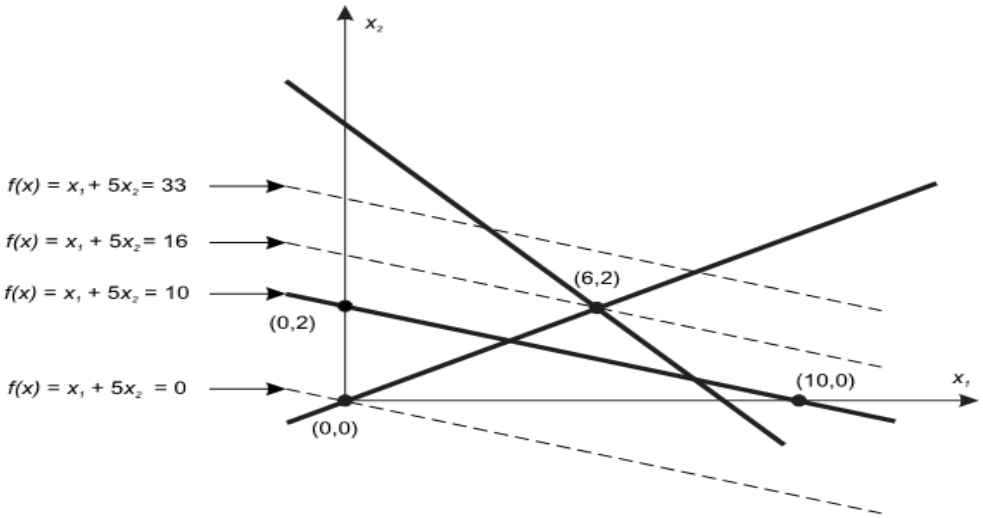
والمطلوب إيجاد النقطة من المجال المتضمن مجموعة الحلول التي تحقق أكبر قيمة للتابع الهدف. من الواضح أن هذه النقطة هي في المواقع المتطرّفة، إذا كانت ضمن المجال المحقّق للشروط. هذا يعني وجود مجموعةٍ من القيم المثلى.

بعد رسم المنحنيات البيانية التي تمثّل القيود، كما في الشكل (1−6)، وبيان في أيّة جهةٍ من المستقيم تقع النقاط التي تحقّق المتراجحة المطلوبة، فتتقاطع مع هذه الخطوط في النقطة (6 ، 2).




الشكل (1−6): حل مسألة تابع هدف لتابع مع شروط خطية

وتصبح مجموعة الحلول الممكنة هي المثلّث المحصور بين هذه الخطوط البيانية. الشكل (1−6). وبملاحظة أنّه إذا تمّ رسم الخطوط البيانية للتابع الهدف، والناتجة عن تغير قيمة نقطةٍ من مجموعة الحلول، ينتج لدينا مجموعة من الخطوط المتوازية لها الميل نفسه (−5/1). كما في الشكل (1-7). الذي يمثّل كلًّ منها مجموعة حلولٍ للتابع الهدف، والتي سوف يتغيّر موقعها إلى أعلى بازدياد قيمة ( $x_1$ ,$x_2$) حتى تتقاطع مع منحنيات القيود الطرفية في النقطة ( 6 ، 2)،عندها ستكون القيمة العظمى للتابع الهدف هي (16).




الشكل (1−7): تمثيل مجموعة الحلول الممثلة للتابع الهدف لإيجاد الحل الأمثل.

Karmeli, Gadish, and Meyer (1968). Salcedo and Weiss (1972). And Austin and Robinson(1976). قاموا بتطبيق تقنية البرمجة الخطية في إيجاد الحلّ الأمثل على شبكة مياهٍ متفرعةٍ (غير حلقيةٍ). حيث يكون الاحتياج معروفاً، والجريان في الأنابيب يحقّق معادلة الاستمرارية. لأنّ الضياعات الرأسية هي معادلة غير خطيةٍ. ولكن يمكن إعادة صياغتها بطريقةٍ خطيةٍ، لأن علاقة الضياعات الرأسية بطول الأنبوب هي علاقة خطيّة، ويكون التابع الهدف هو تصغير الكلفة، واعتبار القيود متعلقة بطول الأنبوب فقط ، وأنّ الشبكة مؤلّفة من مجموعة خطوطٍ، وكلّ خطٍّ له طول معروف، والمتغيّر هنا هو قطر كلّ أنبوبٍ.[2][3]. كما قام كلا من Alperovits and Shamir (1977) بتطبيق هذه التقنية لأمثلة الشبكات الحلقيّة.. حيث طبّقا هذه التقنية على شبكة مياهٍ مؤلفة من حلقتين وثمانية أنابيب طول كل أنبوبٍ 1000م.ط ومصدرٍ مائيٍ. ومتغيرات التصميم هي بارامترات كقطر الأنابيب (يمكن أن يكون غزارة المضخة، مستوى الماء في الخزان. موقع الخزان....). والغزارة المارة من المصدر إلى المستهلك معلومةٌ. كما أنّ الاحتياج المائيّ والضاغط المطلوب في كلّ عقدةٍ معلومين. مع إمكانية تزويد الشبكة بمضخّاتٍ وسكورة قطعٍ عند اللزوم.وبارامترات التشغيل هي مثلاً (إعدادات السكورة لكلّ حالة تحميلٍ، المضخّة التي سيتمّ تشغيلها...). والقيود الطرفية (الاحتياج المائي المطلوب تحقيقه في العقد، والضاغط المطلوب توفره).وقد تمّ تزويد هذه المعطيات لبرنامج خطي حيث تم حساب ميل المستقيم الممثل لتغيّر الكلفة لتصميم الشبكة مع تغير طريقة التوزيع للغزارات، (أي بتغير أقطار الأنابيب، أومواصفات المضخّة

المستخدمة، أو وضعيّة السكورة الموجودة على الشبكة). والكلفة الدنيا لعملية التصميم أو التشغيل كانت هي التابع الهدف المنشود. ولكن تبين أن من نقاط ضعف هذه الطريقة هو أنّ المهندس المصمّم هو من يختار توضّع الشبكة الذي سوف تتمّ عليه عملية الأمثلة. والتابع الهدف يتضمّن فقط كلفة التصميم والتشغيل (لم يقم بإضافة كلفة مخالفة الشروط الطرفية كالضغط في العقد مثلا).كما عدّت الغزارة الداخلة والخارجة من الخزّان ثابتةً لكل عملية تحميلٍ، ولم يأخذ بالحسبان سعة الخزّان كمتغيّر.

## 1-7-3 البرمجة غير الخطية: Non-Linear Programming

تشير البرمجة غير الخطية (كإحدى طرق اختيار الحل الأمثل) إلى أن مجموعة التابع الهدف والشروط الطرفية هي معادلات غير خطية بالنسبة للمتحول. بين Waliski [1] أن هذه الطريقة أكثر موضوعيةٍ وقابليةٍ للتطبيق، ولكن تواجه بعض الصعوبات بسبب :

1- منطقة الحلول الممكنة ليست بالضرورة من النوع المحدب بالنسبة لمكونات الشروط غير الخطية.

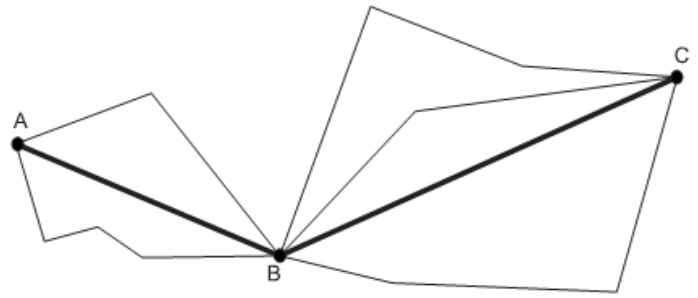
2- ليس بالضرورة أن يكون الحلّ الأمثل في النقاط الطرفية لمنطقة الحلول الممكنة.

3- يمكن أن يكون هنالك حسب المخطط البياني عدّة نقاطٍ حديةٍ، وبالتالي يمكن أن تكون لدينا عدّة حلولٍ تمثل الحلول المثلى، وخاصّة خارج المنطقة المحددة، والممثلة لمجموعة الحلول المحققة لمعادلة الهدف، ومعادلات الشروط الطرفية. ويمكن أن تكون المعادلة غير الخطية من الشكل الذي يصعب إيجاد حل له، لذلك من الصعب توقع إيجاد طريقة أمثلةٍ متعلقةٍ بالبرمجة غير الخطية. مثلاً إذا كانت المسألة تتضمن شروطاً غير خطيةٍ وإذا كانت نقطة الابتداء غير مُعرّفةٍ، فلا توجد هنالك طريقة مضمونة لإيجاد النقطة التي تمثل الحلّ الأمثل، أو معرفة فيما إذا كانت هنالك نقطة تمثل هذا الحل أم لا.

## 1-7-4 البرمجة الحركية : Dynamic Programming

تعد إحدى طرائق الأمثلة المؤلفة من عدة مراحل لتطور القرار، والتي يجب من خلالها اتّخاذ قرارٍ من أجل كلّ مرحلةٍ. هذه التقنية تعتمد على مبدأ بسيطٍ للأمثلة. حيث أوضح Bellman(1957) حسن إدارة الحلّ الأمثل يجب أن يكون له خصوصية إهمال القرارات التي تؤدّي إلى حالاتٍ جزئية . القرارات المتبقية يجب أن تشكل حلاً أمثلاً للانتقال من هذه المرحلة. مثلاً: إذا كانت النقطة B تقع

على الطريق الأقصر بين A وC فيكون الطريق الأقصر بين B و C يتوضع على طول هذا المسلك. وإذا كان هنالك طريق أقصر منه بين C و B فإنه يشكل مع الطريق الأقصر بين A و B الطريق الأقصر بين A و C. الشكل(1−8).




الشكل (1−8): شرح الطريقة الديناميكية لإيجاد الحل الأمثل

هذه التقنية مناسبة من أجل المسائل التي تملك الخصائص التالية:

1− المسائل التي يمكن أن تُقسّم إلى مراحل، مع قرارٍ يتمّ أخذه في كلّ مرحلةٍ.

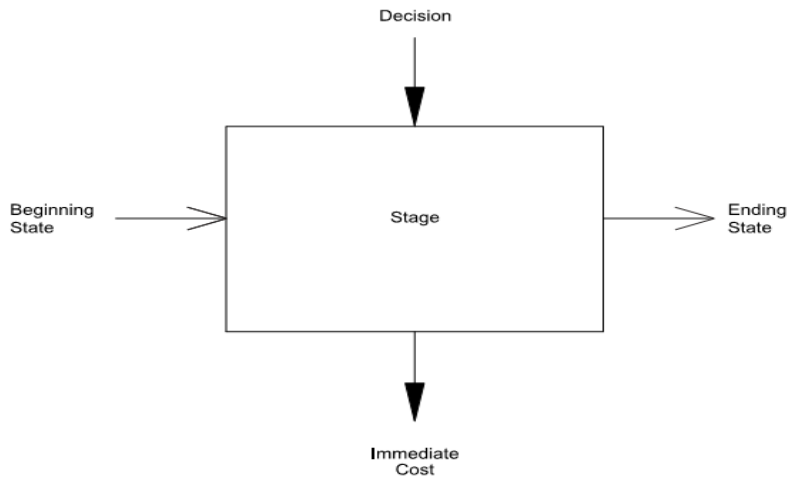
2− لكلّ مرحلةٍ مجموعة من الخصائص المرتبطة بها.

3− القرار المتّخذ (الحل) في الخطوة يحوّل هذه الحالة إلى حالةٍ في الخطوة التالية.

4− لايعتمد اتخاذ القرار أو الحل الأمثل في الخطوة الحالية على الحلول المتخذة بالخطوات السابقة. المثال التالي يناقش المبادئ الأساسية للبرمجة الحركية D N:

طبق .Walski, Chase, and Shrp(1989)، هذه التقنية على منظومة توزيع مياه، لإيجاد الحل الأمثل لتوزيع المياه فيها خلال 24 ساعة (يوم واحد)، تحت شروط احتياج معروفةٍ. أي تقسيم اليوم إلى 24 فترة، وكان القرار الواجب اتخاذه هو تحديد كميّة المياه الواجب ضخّها إلى الخزّان المركزي لتأمين الاحتياجات. وكيف يمكن تقليل كلفة الضخّ خلال ال 24 مرحلة. إنّ حجم المياه في الخزّان سوف يمر بعدّة حالاتٍ خلال 24 ساعةٍ، (مثلاً: يمكن أن يكون الخزان مملوءاً في البداية، ثم يصبح فارغاً، ثم يعاد ملؤه وهكذا). عند ذلك فإنّ حالة النظام أو متغير الحالة هو حجم التخزين. المشكلة الأساسية في استخدام هذه التقنية تنبع من متطلبات كون متغيّر الحالة منفصلاً. هذه

المتطلبات توضح أنّ البرمجة الحركية تعتمد بشكلٍ كبيرٍ على مستوي التميز أو الانفصال لمتغير الحالة (في هذه الحالة حجم التخزين). والقرار في هذه الحالة هو الكميّة التي تمّ ضخّها إلى الخزّان، وتابع تحويل الحالة هو معادلة الاستمرارية التي تربط التخزين في مرحلة ما بالتخزين في مرحلةٍ سابقةٍ. الشكل (1−9).




الشكل (1−9): تمثيل إحدى مراحل الأمثلة بالطريقة الديناميكية.

في كلّ مرحلةٍ تتضمّن عملية الحساب ثلاث مركباتٍ أساسية :

1− الكلفة في بداية المرحلة .

2− كلفة القرار المتخذ في هذه المرحلة (هنا كلفة الضخ).

3− الكلفة الدنيا للمراحل المتبقية (الكلفة المتبقية لعملية الضخ في المراحل المتبقية).

والمعادلة المعبّرة عن هذه العملية هي:

$$f_i^*(s_i) = min_{d_i}\left[\, c_i\left(\, s_i - d_i\right) + f_{i-1}^*\,(s_{i-1})\right] \qquad : \; i = 1 - 2 \ldots\ldots n$$

حيث : $c_i\left(\, s_i - d_i\right)$ :الكلفة الناتجة عن اتخاذ القرار $d_i$ والذي ينقل الحالة من $s_{i-1}$ الى الحالة $s_i$

$f_{i-1}^*\,(s_{i-1})$ :كلفة الحالات السابقة .

في حالة الخزان فإن:

$c_i(s_i - d_i)$ : هي كلفة الضخّ من مستوى حجم تخزينٍ الى مستوى حجم تخزينٍ جديدٍ في مرحلةٍ جديدةٍ.

$f_i^*(s_i)$ :الكلفة المثالية للمراحل السابقة .

وتبيّن أنّ هذه التقنية تعطي نتائج أفضل كلّما كان عدد المتغيرات التصميمية أصغر.

## 5-7-1 طرائق البحث غير التكيفية: Non Adaptive Search Methods

على الرغم من كون طرائق التدرج في الحل جيّدةً لإيجاد الحلّ الأمثل في المشاكل الحقيقية، لكنها سرعان ما تصبح غير مناسبةٍ، وغالباً غير عمليةٍ ومستحيلة عند حساب الاشتقاق الجزئي تحليلياً، مع الأخذ بالحسبان متغيرات القرار Decision Variables.

والحلّ بالطرائق التحليلية بحاجةٍ إلى تقييم التابع الهدف في عدة نقاطٍ حول الموقع الحالي، واستخدام تقنية التفاضل العددي لإيجاد المشتقّ الجزئيّ. تتطوّر قيم تابع التقييم المطلوبة بشكلٍ سريعٍ، لتصبح غير مقبولةٍ في حال الدراسة في فضاءٍ بأبعاد كثيرةٍ. وتكون في هذه الحالة العلاقة بين التابع الهدف ومتغيّرات القرار غير معروفةٍ، أو غير موجودةٍ، أو غير مستعملةٍ.

إنّ هدف طرائق البحث غير التكيّفية Non Adaptive Search Methods، هو البحث في الفضاء المتعدّد الاتجاهات، لإيجاد مجموعةٍ من قيم متغيرات القرار (بعددٍ قليلٍ من المحاولات)، والتي تنتج قيمةً للتابع الهدف تكون قريبةً جدّاً من القيمة الأفضل المحقّقة. تفيد مثل هذه الطرائق في تحقيق غايتين أساسيتين، الأولى: هي تحقيق قيمةٍ جيدةٍ للتابع الهدف. والثانية: تستخدم من أجل تأمين معلومات جيّدةٍ تساعد في تحديد نقاط التجريب المستقبلية، والتي نرغب أن تحقّق قيم التابع الهدف انطلاقا منها قيماً مثلى.

وبين(1989) Walski أهم هذه الطرائق:

1- **البحث العشوائي: Random Search**

طريقة البحث العشوائي من الطرائق الجيدة في البحث عن القيم المثلى. ولكون هذه الطريقة لا تحتاج لمعلومات مسبقةٍ حول المشكلة، فإن القيم الناتجة من استخدام هذه الطريقة مرتبطة بالحظّ والاحتمالية.

2- **إستراتيجية تسلّق الهضبة: A hill- Climbing Strategies**

هي إحدى طرائق البحث عن القيمة العظمى للتابع الهدف. وتعتمد على الطريقة التي يتّبعها المتسلّق للقمّة لإيجاد الطريق الأقصر المؤدي إليها. بالإضافة إلى أن المعلومات التي يعرفها المتسلّق عن المكان تأتي فقط من خلال التحرّكات السابقة. وتبحث هذه الطريقة في كيفية إيجاد أفضل السبل للوصول إلى القمّة بأقلّ عددٍ من المحاولات. وبناءً عليه فإنّ وظيفة كلّ محاولةٍ (حلٍ) هي ليست فقط إعطاء قيمةٍ للتابع الهدف، بل أيضاً إعطاء معلوماتٍ تفيد في إيجاد نقاط البحث المستقبلية، التي أعطت قيماً جيدة للتابع الهدف.

الطرائق التي تتّبع خطّةً وبرنامجاً ممنهجاً في عملية البحث المنتظم عن الحلّ الأمثل، ابتداءً من نقاط معينةٍ تسمّى طرائق البحث المباشرة Directing Search Methods. هذه الطرائق تعتمد على إعطاء قيماً للمتغير، وبيان مدى تأثير ذلك على قيمة التابع الهدف. هذه المحاولات تدعى الخطوات Steeps. متعة العمل بهذه الطرق ليس فقط في البراهين النظرية لهذه المقاربات للحلّ الأمثل، ولكن أيضاً في بساطتها وفي حقيقة أنّها تتطور بتقدّم خطوات العمل بها.

3- **طريقة فايبونشي: Fibonacci- Coordinate Search**

سُمّيت بعد القرن الثالث عشر بهذا الاسم نسبة إلى العالم الرياضي الذي وضع سلسلةً من الأرقام التي تعدّ أساساً لهذه الطريقة. وقد عدّت هذه الطريقة هنا أساسيةً، حيث بيّن Schwefel, (1981) أن هذه التقنية أظهرت أنها من أفضل الطرائق للحصول على الحل الأمثل من بين الطرق التي تعتمد على تقسيم مسار البحث عن الحل الأمثل إلى مراحل. في هذا النوع من العمليات، يتم حساب قيمة التابع الهدف لكل مرحلة، واختيار الحل الأمثل لها، حيث يتم إسقاط المراحل التي لا يمكن من خلالها الوصول إلى حل أمثل. في هذه الطريقة، يتم تشكيل خط البحث بشكل متتالي لكل بارا متر. ومسار البحث هذا يستلزم الخطوات الثلاث التالية:

1- تحديد اتجاه البحث.

2- تحديد القيود الطرفية لكل مرحلة.

3- البحث عن القيمة المثلى للبارامتر المطلوب ضمن هذه المرحلة.

ولأن ميل التابع الهدف غير معروف (أي لا يمكن تحديد النهاية المحلية بالاشتقاق)، فيتم خلال مسار البحث اتخاذ خطوات صغيرة في الاتجاه الموجب، وحساب قيم التابع الهدف عندها، واتخاذ

نقاط في الاتجاه السالب إذا دعت الحاجة. إذا تحسنت قيم التابع الهدف عن الوضع الحالي يتم اتخاذ خطوات أبعد في الاتجاه الذي يتم من خلاله إحراز تقدم في قيمة التابع الهدف. وقد استخدم مجموعة من الباحثين مثل .Van Zyl, Savic, Walters (2001) هذه الطريقة لإعداد التصاميم المسبقة للحل الأمثل لنظام توزيع المياه.[4]

**4- نموذج هوك-جيفز للبحث: Hooke and Jeeves Pattern Search**

تعتمد هذه الطريقة على نموذجين للحركة في كلّ تكرارٍ. الحركة الأولى استكشافية، والتي تماثل طريقة البحث الإحداثي المبسط بخطوةٍ واحدةٍ منفصلةٍ على كلّ محورٍ، على افتراض أن الخطّ الواصل بين النقاط الأولى والنقاط الأخيرة من الحركة الاستكشافية يمثّل الاتجاه المفضّل، فإنّ التحرّك للاستكشاف يتمّ عبر هذا المسار. الحركة الثانية هي استكشاف محلّي، تتمّ من خلال النقاط المستنتجة، ومن ثمّ يتمّ مقارنة قيمة التابع الهدف لهذه الخطوة مع قيمة التابع الهدف للخطوة السابقة حسب (Schwefel (1981. إذاً: طول الخطوة سيزداد عند كلّ نجاحٍ بالحركة بينما يتغير اتجاه الحركة تدريجياً خلال ذلك.

هنالك عدة طرائق أخرى من طرائق Non Adaptive Search Methods للبحث عن الحلّ الأمثل، مثل: Exploration and Exploitation – Downhill Simplex Search ...

## 1-7-6 طرائق البحث التكيفية: Adaptive Search Methods

خلال العقود الأخيرة برزت خوارزميات حسابية تحاكي قواعد التطوّر الطبيعي. وقد برهنت على نجاحها الكبير، وتأثيرها على الكثير من الحقول والتطبيقات. وقد وجد الباحثون أنّ لهذه الخوارزميات أهميّةً كبيرةً في المساعدة على إيجاد الحلّ الأمثل. مثل هذه الخوارزميات يمكن أن تظهر مثلاً من خلال محاكاة عمل النظام العصبيّ لدى الإنسان، أومن خلال اعتماد مبدأ داروين في البقاء للأفضل، من حيث تمثيل المشكلة على أنّها مجموعة من الجينات، تشكّل سلسلةً من الكروموسومات (الحلول). أو من خلال محاكاة عملية التقوية للمعادن عن طريق الاسقاء والإحماء المتكرّر (الانصهار الزائف)، للحصول على صفاتٍ أفضل. أو من خلال محاكاة سلوك النّمل في اختياره لأفضل الطرق وأقصرها للوصول من مستعمرته إلى أماكن تواجد الغذاء. وفيما يلي نقدم شرحا موجزا لأهمّ هذه الطرائق:

### 1- طريقة الانصهار الزائف: Simulated Annealing

التقوية، هي نوع من ضروب الفن الصناعي القديم، الذي يقوم على تصنيع الأدوات والأسلحة والمعدات اللازمة من المعادن، وإكسابها الكثير من الصفات الجيدة، عن طريق عمليات الإحماء والإسقاء المتتالية، للوصول إلى الدرجة المطلوبة من الموثوقية. وقد بين بعض الباحثين أمثال ;(R، Kirkpatrick, Gelatt and Vecchi, (1983بمحاكاة طريقة الانصهار الزائف كنوعٍ من أنواع البحث العشوائي عن الحلّ الأمثل، تم استلهامها من الانصهار الفيزيائي للأجسام الصلبة ( physical Annealing).[5] والتي تتمّ عن طريق تسخين الجسم الصلب إلى درجةٍ عاليةٍ من الحرارة ، وتبريدها ببطءٍ وبشكلٍ تدريجيٍّ، حتّى الحصول على النتائج المرغوبة. عندما يبدأ الانصهار الزائف، يتم توليد حلٍّ أوليٍّ للمشكلة، وتستخدم كأوّل حلٍّ. تنخفض درجة الحرارة بعدئذٍ بشكلٍ منتظمٍ. ويتمّ إيجاد الحلول المجاورة للحلّ الحاليّ. إذا كانت قيمة تابع الهدف أعلى من قيمة الحلّ الحالي، يصبح الحلّ المجاور هو حلّ للمسألة. أمّا إذا كان الحلّ المجاور يعطي قيمةً للتابع الهدف أدنى من القيمة التي يعطيها الحلّ الحالي، يبقى الحلّ المجاور هو حلّ المسألة إذا تمّ تحقق معيارٍ معين. إنّ قبول الحلول الدنيا يسمح للبحث في أماكن مختلفةٍ من سلسلةٍ ملائمةٍ من الحلول، في محاولةٍ للوصول إلى الحلّ الأمثل. إنّ متابعة عمليتي البحث وتقييم الحلول المجاورة، تستمرّ حتّى تحقّق المعايير المطلوبة.

### 2- تقنية محاكاة مستعمرة النمل في البحث: Ant-Colony Search (ACO)

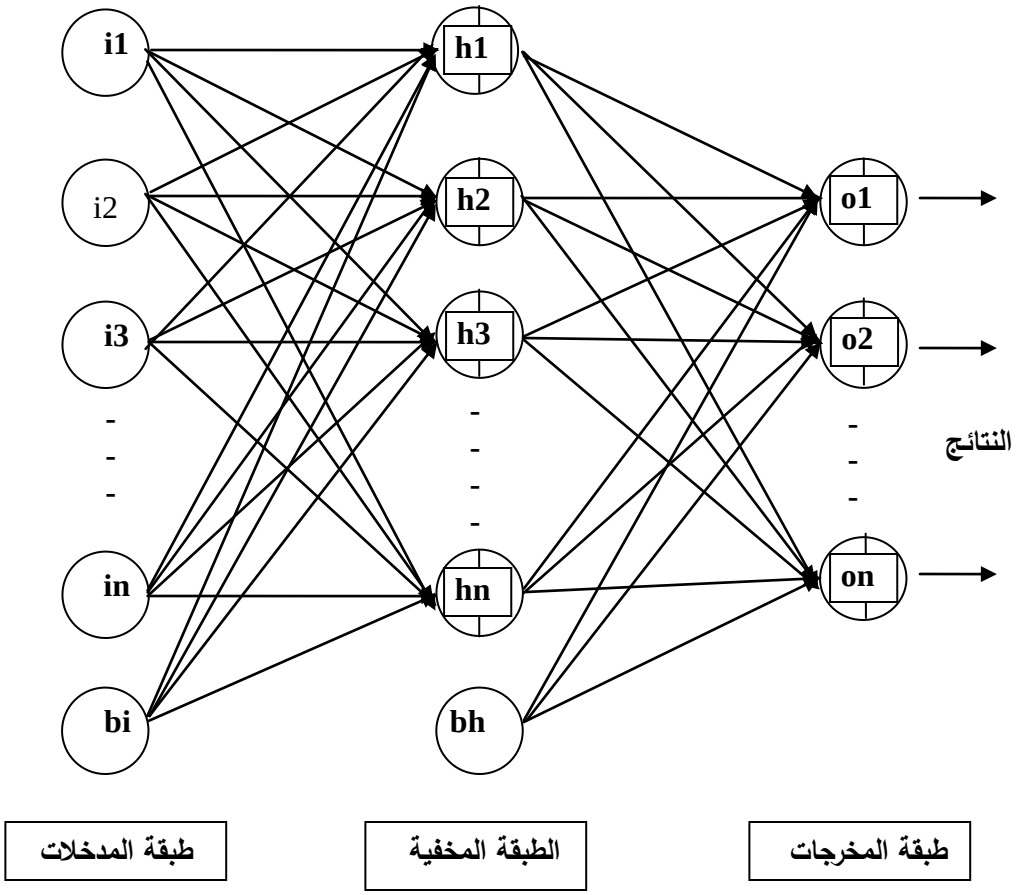
لقد أثارت الطريقة التي يقوم بها النمل في رحلة البحث عن غذائه، اهتمام العلماء والباحثين. حيث يخرج النمل من مستعمرته للبحث عن مورد الغذاء، وعندما تجد إحدى أفراد النمل الغذاء، تقوم بالبدء بنقله إلى المستعمرة، وتبدأ جماعات النمل بشكل سريع بالتعرف على مسار مورد الغذاء الأقصر إلى المستعمرة. ولو حاولت وضع أي عائق يؤدي لتبعثر هذه الجماعات، لا تلبث أن تعود لتلتف على هذا الحاجز بأقصر الطرق، وتعاود نشاطها في نقل الغذاء إلى المستعمرة.

يكمن سرّ التعرّف من قبل أفراد هذا المجتمع إلى الطريق الأقصر بين هذه الطّرق، إلى أنّ أفراد النمل وخلال رحلة البحث عن مورد الطعام، تترك وراءها أثراً لحمضٍ تفرزه، وعندما تجد إحدى هذه النملات الطعام، تحمل شيئاً منه وتعود إلى المستعمرة، ممّا يضاعف كميّة الأثر المتروك من الحامض المفرز. وعندما تجد نملة أخرى الطعام، سوف تختار طريق العودة ذا الرائحة المضاعفة، وعندما تبحث بقية الأفراد عن الطعام ستتبع هذا الأثر القوي للحمض المذكور. وشيئاً فشيئاً يزداد هذا الأثر، ويختار جميع الأفراد هذا الطريق المختصر. أي أنّ النمل استطاع أيجاد أقصر الطرق

بإعطائه قيماً متتالية. وقد تمّت محاكاة هذه الطريقة لحلّ مسألة البائع المتجوّل المشهورة من قبل: (Dorigo and Di Caro, 1999). ولكنّ هذه الطريقة قد استخدمت لإيجاد الحلّ الأمثل لمسألة توزيع المياه في مرحلة التصميم لهذه الشبكات.ولم تستخدم في مجال معالجة المشاكل الناجمة عن التشغيل. [12]

### 3- الشبكة العصبية الصنعية: Artificial neural networks (ANN)

الشبكات العصبية الصنعية، هي عبارة عن نموذج أو موديل للحسابات، مستلهم من طبيعة عمل الدماغ البشري والأعصاب، ضمن هيكلية وبناء الشبكة العصبية الصنعية تكون معلومات بارامترات الإدخال تدخل إلى النموذج عن طريق عقد الإدخال (نيورون أو خلية عصبية)، قبل بدء العمل بالنموذج. يتمّ إدخال قيمٍ لا على التعيين لأوزان نقاط الاشتباك العصبي. بعدها تقوم عقد طبقة المدخلات بإرسال المعلومات (وهنا عبارة عن حسابات وحلول نمذجة الموديل الاعتباري لتغيرات الضغط الهيدروليكي) لجميع عقد الطبقة الثانية أو الطبقة المخفية كما هي من دون معالجةٍ، حيث إنّه عند أيّة عقدةٍ من عقد هذه الطبقة المخفية، فإن تلك العقد تستقبل البيانات من جميع عقد الطبقة الأولى (طبقة المدخلات)، وذلك بعد ضربها بقيم الأوزان الموافقة لنقاط الاشتباك العصبي، ومن ثم يتم تجميع حاصل الجداء ككل. في المرحلة اللاحقة، يتم معالجة حاصل الجمع باستخدام ما يسمّى عامل التنشيط (Activation Function)، والتي بموجبها نحصل على مخرجات هذه الطبقة. كما في الشكل(1-10). وبطريقةٍ مماثلةٍ، فإنّ القيم المعالجة من قبل عقد الطبقة المخفية، ترسل إلى عقد الطبقة الثالثة أو طبقة المخرجات، (عند أي عقدةٍ من عقد هذه الطبقة فإن تلك العقدة تستقبل البيانات من جميع عقد الطبقة المخفية)، وذلك بعد ضربها بقيم الأوزان الموافقة لنقاط الاشتباك العصبي. ومن ثمّ يتمّ تجميع حاصل الجداء ككل، ومعالجته بطريقةٍ مشابهةٍ لما حصل تماماً في المرحلة السابقة. بعد الحصول على القيم المعالجة عند كل عقدةٍ من عقد طبقة المخرجات، يتمّ مقارنة مربّع القيم المحسوبة مع مربّع القيم الحقيقية المقاسة، ويتم حساب متوسّط الخطأ التربيعي ( Mean Squared Error) بينهما. ( وهنا يمكن القول إنّنا أنهينا مرحلة الذهاب من الحسابات )، فإذا كانت (MSE) ضمن الحدود المسموحة، فيتمّ عندها إنهاء العملية ككلّ، أمّا في الحالة المعاكسة، فيتمّ عندها البدء بمرحلة الإياب من الحسابات، وذلك بغية تعديل قيم أوزان نقاط الاشتباك العصبي، عن طريق خوارزميات الانتشار الخلفي أو (Back Propagation Algorithm).[13]




الشكل (1−10): المخطط التمثيلي المبين لمبدأ عمل الشبكة العصبية الصنعية

### 4− الخوارزميات الجينية: Genetic Algorithms

تُصنّف الخوارزميات الجينية على أنّها إحدى طرق البحث العشوائي لإيجاد الحلّ الأمثل لمسألة ما، مستخدمة الجينات (الممثلة على الحاسب) كنموذجٍ لها أثناء رحلة البحث للوصول إلى الحل الأمثل، مستلهمةً مراحل عملها من نظرية تطوّر الجنس البشري لداروين.[11] [12]

قام Jon Holland (1975) بوضع القواعد الأساسية لهذه التقنية، من خلال محاكاة عملية التطوّر، من خلال إنشاء عالمٍ افتراضيٍ، ثم يتمّ تسكين سكان افتراضيين(Pseudo organisms)، ومن ثم تزويد سكان هذا العالم بهدفٍ معين (Objective Function) يراد تحقيقه، (الحل الأمثل للمشكلة موضوع الدراسة). بعد إنتاج عدّة أجيال في هذا العالم يتمّ تقييم الأفراد اعتماداً على قواعد وضعت بشكلٍ واضحٍ من قبل تشارلز داروين، وتعتمد على مبدأ الاصطفاء الطبيعي (البقاء للأفضل) لتكوين مجتمعات جديدةٍ، وإعادة إنتاج أجيال جديدةٍ من الأفراد ذوي التقييم الأفضل لتكوين مجتمعات

جديدةٍ. كما اعتمدت قواعد إضافيةٍ من خلال التوسعّ بهذا المفهوم، لإصلاح مجتمعات موجودةٍ بإدخال عناصر جديدةٍ، ووراثة معلومات جينيةٍ من العائلة، والطفرات التي يمكن أن تحدث على هذه الجينات. وتسهم في إغناء التنوع من أجل تحسين الحلول الناتجة. حيث يتمّ تقييم جودة الحلول الناتجة بمدى تحقيقها للتابع الهدف. وقيمة هذه الكروموسومات تسهم بشكلٍ كبيرٍ في زيادة فرص اختيارها لتشكيل الأجيال التالية. وبناء على ذلك تمّ اعتماد طرائق بحثٍ وبرامج Evolutionary Programs (EPs) تعتمد على الاصطفاء الطبيعي، وميكانيزم إعادة التشكيل لجينات الكروموسوم (الحل) لإنتاج حلول جديدةٍ، وتحسين السمات الخاصة بالحلول بإضفاء روح عملية التطور الطبيعي عليها. وعلى الرغم من أنّها تمثّل تبسيطاً كبيراً لعملية التطور الطبيعي، فإنّ هذه البرامج تزودنا بخطوات بحثٍ فعالةٍ وإستراتيجيةٍ. وتعدّ الخوارزميات الجينية النموذج الأكثر شيوعاً لـ (EPs). وقد ذاع صيتها بين المصممين والمحللين والمهندسين، لقدرتها على إيجاد حلول لمشاكل سابقةٍ. وقد تمّ خلال السنين الأخيرة تزويد مسائل البحث عن الحلّ الأمثل لتوزيع شبكات المياه بهذه التقنية، من أجل المعايرة والتصميم واختيار المضخّات وحلّ المشاكل المتعلقة بوجود خللٍ في استثمار هذه الشبكات بنجاحٍ كبيرٍ، وخاصّةً مع اعتماد هذه التقنية ضمن برامج مائية عملاقةٍ، حيث أصبحت متاحةً بشكلٍ كبيرٍ للمهندسين الاحترافيين. ولكون هذه التقنية سوف تستخدم في إيجاد الحلّ الأمثل لتوزيع المياه في منطقة الدراسة موضوع البحث فسيتمّ في الفصل الثاني شرحها بالتفصيل.

### 1-7-7 أهم الدراسات في مجال استخدام تقنية الـ GA:

اهتمّ عددٌ من الباحثين منذ بداية القرن العشرين بإيجاد الحل الأمثل لتوزيع المياه عبر شبكات مياه الري والشرب، واستخدموا العديد من الطرائق والتي شرحت سابقاً لإيجاد الحلّ الأمثل. حتى ظهرت تقنية الخوارزميات الجينية حيث تمّ تطبيق هذه التقنيات في مجال الموارد المائية. من إدارة المياه الجوفية والسطحية، إلى الاستفادة من المياه العادمة، ومختلف الحقول التي تعنى بصناعة المياه، وصولاً إلى تطبيق هذه التقنية على جمل التزوّد بالمياه. ويمكن أن نعدّد هنا أهمّ الحقول التي تمّ تطبيق تقنية ال GAs عليها، وأعطت نتائج ممتازةٍ:

1- التنبّؤ بكميات المياه الناتجة عن الهطول المطري ومختلف الجريانات الناتجة عنها.

2- تقدير كميّات المياه السطحية والجوفية.

3- إيجاد الحلّ الأمثل لنظم توزيع المياه بمختلف مكوناتها في مرحلة التخطيط والتصميم،

4- إيجاد الحلّ الأمثل لعمليات التشغيل والصيانة والإصلاح ومعالجة الخلل الناتج عن عمليات الاستثمار.

5- إيجاد الحلّ الأمثل لعمليات تشغيل محطات الضخّ ومحطات تنقية المياه.

وفي مايلي نستعرض بعضاً من أهمّ الأبحاث التي عنيت بهذا الحقل المعرفي، وخاصّة في مجال استخدام تقنية الخوارزميات الجينية لإيجاد الحلّ الأمثل للمسائل المتعلقة بنظم التزوّد بالمياه:

استقصى Montesinos et al. (1999) مشكلة تزويد مدينة نيويورك بالمياه. وقام بإيجاد (بعد تعديل تقنية الGAs المستخدمة من قبل الباحثين الذين سبقوه) الحلّ ذو الكلفة الأقلّ لهذه المشكلة، آخذاً بالحسبان الكلف الإضافية الناتجة عن مخالفة الشروط الطرفية. حيث اعتمد معظم من سبقوه على تحديد معادلة التابع الهدف كتابعٍ لمتغيّراتٍ مرتبطةٍ بشكلٍ أساسيٍّ بكلفة الحلّ المختار.[14]

Reis and Chaudhry (1997) استخدما تقنية الـ GAs لتحديد موقع وإعدادات سكورة التحكم بالضغط في نظام توزيع المياه. وكان التابع الهدف هنا هو أقل قيمة للتسرب من خزانات المياه من أجل مستوياتٍ محددةٍ.[15]

Yeo and Agyei (1998) أوضحا الكثير من تطبيقات الـ GAs في حل الكثير من المشاكل الهندسية، مثل طريقة تحليل العناصر المنتهية للمنشآت – استخلاص الملوّثات من الطبقات الصخرية الحاملة للمياه الجوفية (aquifer) – التحديد الأمثل لمواقع حفر الآبار من أجل الحصول على أفضل التصورات عن توضّع المياه الجوفية وتقليل كلف الضخّ منها قدر الإمكان.ومدى مرونة هذه التقنية وقابليتها للتطبيق من أجل إيجاد الحلول المثلى لكثيرٍ من المسائل الهندسية.[16]

Yagi and Shiba (1999) بيّنا مدى كفاءة استخدام GAs في تزويد المصممين بطريقةٍ فعالةٍ لتأسيس قاعدةٍ منطقيةٍ مناسبةٍ لربط المياه الناتجة عن محطّات المعالجة مع نظام الجريان الطبيعي.[17]

Wardlaw and Sharif (1999) وجدا أنه من الممكن معالجة مسألة شبكة توزيع مياه بأربعة خزانات تزويد بالمياه بكفاءةٍ، باستخدام تقنية الـ GAs بعد استخدام عملية الترميز بوساطة الأعداد الحقيقية. (أي تمثيل الجينات المكونة للسلاسل "الكروموسومات" بأعداد حقيقية). وطريقة الاختيار التي اتبعت لبيان العناصر التي ستشارك في عملية التصالب والطفرة هي : Tournament واختيار التصالب والطفرة بطريقة uniform cross-over and modified uniform mutation ، التي تسمح

لكلّ جينٍ بالمشاركة بعملية التصالب والطفرة. كما أوضحا أنّ طريقة الترميز بوساطة الأعداد الحقيقية أسرع بشكلٍ واضحٍ من طريقة الترميز الثنائي ( 0 – 1) وتعطي نتائج أفضل[18]. كما بيّن كلٌّ من Olivera and Loucks (1997) في السياق نفسه كيفية استخدام تقنية ال GAs في حل مسائل تتعلّق بشبكات المياه التي تتغذى من مصادر مختلفة.[18]

Morshed and Kaluarachchi (1998) قاما بدراسة الحركة المعقدة لملوثات مصادر المياه الجوفية، وعرضا مدى الاستفادة من طريقة البرمجة العصبية الصنعية artificial neural networks في حل المسائل المتعلّقة بالمياه الجوفية.[ 19].

Gupta et al (1999) طوّر طريقةً تعتمد على استخدام تقنية الـ GAs للحصول على الكلفة الدنيا لتصاميم الشبكات الجديدة، أو التوسّع بالشبكات الحالية.[21]

Halhal et al. (1997 أوضح أنه من الصعب الحصول على الحل الأمثل للصيانة والإصلاح والتوسع بالشبكات الحالية برأسمالٍ محدودٍ باستخدام الطرق التقليدية (مثل البرمجة الخطية). فقام باستخدام مقاربة مجموعة التوابع الهدف (أكثر من تابعٍ هدف بآنٍ واحدٍ) لتحقيق الكلفة الدنيا والفائدة العظمى، وتحديد التعديلات والتغيرات التي يجب إدخالها على النظام لتحقيق ذلك، من خلال استخدام تقنية الخوارزميات الجينية GA.[22]

Walters et al. (1999) عرض إجراءً يساعد في اتّخاذ قرارٍ من أجل الصيانة والإصلاح والتوسع في الشبكة المدروسة، وتمّ تجريب هذا الإجراء لبيان مدى فعاليته من أجل أيّة شبكة تزوّدٍ بالمياه. في هذا الإجراء، تمّ توصيف مستوى الماء في الخزان كمتغيّرٍ مستقلٍّ. وتمّ تحديد كل العقد كمواقع محتملة لإنشاء خزانات مياه فيها. كما تم الأخذ بالحسبان إمكانية تغيير المضخّات لتحسين الاستطاعة، والنتائج التي تمّ الحصول عليها (مع الأخذ بالحسبان تغيرات الاستهلاك خلال 24h "ESP") نتجت بحلول قليلة الكلفة مقارنةً مع استخدام الطرق الأخرى.[23]

SJ van Vuuren من جنوب أفريقيا قدّم بحثاً في كيفيّة استخدام تقنية الخوارزميات الجينية في تحديد أفضل الأقطار للأنابيب المستخدمة في تصميم شبكات مياه بعد أنّ طوّر برنامجاً لهذه الغاية سُمّي (GAPOP).[24]

في نيسان 2006 قام الباحث (GERÇEK GÜÇ)من MIDDLE EAST TECHNICAL INIVERSITY في تركيّا، باستخدام تقنية الخوارزميات الجينية لإيجاد الحلّ الأمثل لتوزيع المياه ضمن شبكة أنقرة N-8 في تركيا وطوّر لهذه الغاية برنامجاً سهلاً سُمّي RIAL PIPE يعتمد على

برنامج حساب شبكات المياه EPANET لاستيراد البيانات المطلوبة لعمل البرنامج، والقيام بعملية الحساب الهيدروليكي لكلّ حلٍّ، ووضع التقييم حسب معادلة التابع الهدف. وتم تجريب هذا البرنامج على شبكاتٍ مدروسةٍ سابقاً، ليقوم بعد ذلك بتطبيقه على حالة الدراسة المذكورة وأعطى نتائج ممتازة علماً أنّ التابع الهدف كان هو الكلفة الدنيا لتنفيذ الشبكة تبعاً لأسعار الأنابيب حسب القطر.[25]

كذلك قدّم زميله (Morad Kahraman) بحثا في الاتجاه ذاته بتطوير برنامج آخر سمّاه OPTIWATER.[26]

M. A. Afshar and E. Jabbari (2007) استخدما تقنية الخوارزميات الجينية GA من أجل إيجاد الحلّ الأمثل لحجم الأنابيب المستخدمة وتحويل الشبكة من شبكةٍ متفرعةٍ إلى شبكةٍ حلقيةٍ مع الحفاظ على الشروط الطرفية المطلوبة، وتحقيق أعلى قدرٍ من الموثوقية. وقد تمّ تجريب هذه الطريقة على شبكتي مياه تعدّان معلمين أساسيين في أدبيات هذا النوع من الدراسة، وأعطت نتائج فعّالةٍ.[27]

في العام 2006 قام كل من Zheng. Yi. Wu و Chris Clark ببناء موديلٍ لشبكة مدينة سيدني. وهي تتألف من خطوط رئيسيةٍ بطول 175كم. قسم منها مضى على تنفيذه أكثر من مئة عامٍ، وتخدم القسم القديم من المدينة، والغاية من ذلك إيجاد الحلّ الأمثل لإمكانية تزويد الشبكة بفوهات إطفاء الحرائق. من الضروري أن يكون الموديل المنشأ قادراً على محاكاة الشبكة الموجودة، وشروطها، وظروفها. ولمعايرة الموديل، تمّ جمع المعلومات من قبل سلطة مياه سيدني من خلال عشرين موقعاً على الشبكة، مع تسجيل البيانات المتعلقة بمنسوب المياه في الخزان، عبر الزمن. وبيانات تشغيل المضخّات. ثمّ تمّ القيام بعملية المعايرة بطورين، يتضمنان نظاماً هيدروليكياً متكاملاً، وتمثيلاً جينياً مناسباً، لتطبيق عملية الأمثلة باستخدام تقنية الخوارزميات الجينية. إنّ عملية المعايرة التي أُجريت على الموديل من قبل المهندسين، تمّت لتعزيز مبدأين: الأول، هو معايرة الاحتياج الأساسي المتذبذب من المياه خلال اليوم، ومعايرة التدرج الهيدروليكي تحت شروط تحميلٍ مختلفة. أدّت للفهم الجيّد لهيدروليكية الشبكة، ولتعزيز خصائص الموديل من أجل تقييم قدرة المنظومة على تأمين المياه اللازمة لإطفاء الحرائق. وقد أعطى تطبيق تقنية الخوارزميات الجينية فعاليّةً ممتازة من أجل معايرة الاحتياج المائيّ الذي يراعي تذبذب الاحتياج المائي خلال اليوم، وبيان قدرة منظومة مياه الشرب على تأمين الاحتياج المائي لإطفاء الحرائق.[28]

## 1-10-3 على المستوى العربي:

تم تطبيق هذه التقنية في مصر حيث قام كلّ من A .K .Moawad , A .A. Moll ,A .A. , M .A .Muneim Selawy (2010) بتطبيق هذه التقنية على شبكات مياه الشرب في مدينتين مختلفتين هما المعادي ومدينة 15 May بشروط طرفيةٍ (الضاغط > 27.57 – الموثوقية >0.8) بعد إعداد برنامجٍ لهذه الغاية سمّي (Relopt) يعتمد تقنية الـ GA أثبت فعاليةً كبيرةً في إيجاد أقلّ كلفةٍ لتصميم شبكات المياه مقارنةً بالتصاميم التي وضعت بالطرق التقليدية.[29]

M .A .Muneim (2004) قام بتطوير برنامجٍ سمّي OPTWNET يعتمد على قاعدة بياناتٍ مستوردةٍ من البرنامج المائي الشهير Epanet لإيجاد الحلّ الأمثل لنظام توزيع المياه في مرحلة التصميم. وتم تجريبه على إحدى الشبكات المعروفة والمحسوبة بعدّة طرق أمثلةٍ، (شبكة Alberovit – shameer) وأعطت تقنية الـ GA نتائج ممتازةً مقارنةً بالطرق التقليدية. [30]

M. A. Al-Zahrani and K. Moied (2003) طوّرا نموذجاً رياضياً باستخدام تقنية الـ GAs لتحديد المواقع المثلى لتركيب محطات الرصد النوعي للمياه بالطرق العلمية مع الأخذ بالحسبان العوامل الاقتصادية. ممّا يساعد في إعطاء صورةٍ كاملةٍ عن نوعية المياه المنقولة ضمن منظومة مياه الشرب. وقاموا بتطبيق هذا النموذج على شبكات مياهٍ افتراضيةٍ، للتأكد من قدرته على تحديد هذه المواقع، وأعطى نتائج ممتازةٍ.[31]

## 1-10-4 على المستوى المحلي:

كان استخدام هذه التقنية في سوريا خجولاً وفي ميادين محدودة وفي بعض رسائل الماجستير. ففي جامعة البعث قدّم طالب الماجستير نسيب زعرور من كليّة الهندسة المدنية (2008) بحثاً بعنوان: ملاءمة الألغوريتمات الوراثية لاستخدامها في الجدولة الزمنية لمشاريع التشييد. حيث بيّن كيف يمكن إيجاد الجدول الزمني الأمثل لتنفيذ مشروع من بين مجموعة ضخمة من الجداول الزمنية، مع مراعاة قيود الأسبقية والموارد القابلة للتجدد ومن دون تغييرٍ زمنيٍ في مدد العمليات أو تقسيمها حيث يتم الحصول على أقصر جدولٍ زمنيٍ لتنفيذ المشروع.[32]

الباحث الدكتور المهندس عادل عوض من جامعة تشرين كان له الباع الأطول في مجال دراسة الخوارزميات الجينية في سورية. حيث قدم عدة مقالات في هذا المجال. كما قام في العام (2006) بالتعاون مع كل من: I. V. Boser and K. Wichmann من ألمانيا بتقديم بحث حول استخدام

طريقة الترميز بوساطة الأعداد الحقيقية ( Real-Coding) لتشكيل الكروموسومات (الحلول) ضمن تقنية الـ GAs بدلاً من طرائق الترميز بوساطة النظام الثنائي (1,0) أو الترميز بالأعداد الصحيحة. وبيّنوا من خلال ذلك تفوّق طريقة التمثيل هذه على الطرائق الأخرى في حال تطبيقها على الشبكات الكبيرة. في حين أنها تبقى أقل موثوقية من أجل الشبكات الصغيرة لقلة عدد الجينات التي تشكل الكروموسومات مقارنة مع الترميز بالنظام الثنائي .Binary Coding .[33]

**مما تقدّم، نجد أنّ دراساتٍ أكاديميةً عديدةً تناولت مسائل تفصيليةٍ متنوّعةٍ، أجريت لإيجاد الحل الأمثل بالطرائق المختلفة. وأغلب الدراسات الحديثة اعتمدت على تقنية الخوارزميات الجينية في عملية الأمثلة.لمختلف ميادين المعرفة. وفي مجال الموارد المائية ونظم توزيع المياه. من حيث أمثلة شبكات المياه ونظم التشغيل والصيانه والتوسع والتحديث لبيان الكلف الدنيا لهذه العمليات. سواء منها شبكات المياه المتفرعة أو الحلقية. إلا أنه لم يلحظ دراسة مدى تأثير تغيّر قيم بارامترات عملية الـ GAs على نتائج الأمثلة. كما تبيّن أنّ أغلب هذه الدراسات أعتمدت بشكلٍ أساسيٍّ على قطر الأنبوب كمتغيّرٍ تصميميٍّ دون الأخذ بعين الاعتبار المتغيرات الأخرى. كما تبين أن أغلب هذه الدراسات أستخدمت شبكات معروفة التوضع مسبقاً. ولم تناقش أيّاً منها مسألة تحويل شبكات المياه القديمة إلى شبكاتٍ حلقيةٍ مع الاستفادة من التوضّع الموجود للشبكة المتفرعة. لذا تمّ التفكير باستخدام تقنية الـ GAs لبيان الكلفة الدنيا لعملية تحويل الشبكة المتفرعة إلى شبكةٍ حلقيةٍ مع تحقيق الشروط المطلوبة. وتمّ اختيار الشبكة المتفرعة في منطقة المشروع العاشر باللاذقية كحالة دراسةٍ.**

☆☆☆

# الفصل الثاني

# مواد وطرائق البحث

# (الخوارزميات الجينية)

# Genetic Algorithms

## 2-1 الخوارزميات التطورية

تُعدّ نظرية تشارلز داروين (1859) في التطوّر حقيقةً واقعةً. فيما استحوذ قانون داروين _البقاء للأفضل_ (الاصطفاء الطبيعي) بشكلٍ كبيرٍ على التفكير العام السائد. واستخدم هذا المبدأ كنقطة الانطلاق والمدخل إلى الحساب التطوّري (Evolutionary Computation).

يشرح التطور البيولوجي (Evolved Biota)، السلوك المعقّد لعملية التطور في كلّ مرحلةٍ من المراحل التالية: الخليّة—العضو—الفرد—المجتمع. ودور كلٍّ منهم في عملية التطوّر. إنّ مفهوم التطوّر يمكن أن يزوّد للمشاكل التي لا يمكن تمثيلها بمعادلاتٍ حسابيةٍ، أو لتلك التي لم يتمّ الحصول على نتائج مرضيةٍ لها باستخدام الطرق الأخرى. وعليه فقد تمّ الاعتماد مؤخراً بشكلٍ كبيرٍ على الخوارزميات الوراثية، على أنّها مركّب أساسيٍّ لحلّ الكثير من المسائل العملية.

يرى داروين أنّ الكائنات الموجودة حالياً من حيوانات ونباتاتٍ، هي نتيجةٌ لعمليات تحوّل تطوّرت خلال ملايين السنين، للتكيف مع متطلّبات التغير البيئي. خلال أيّ عصر من العصور، يوجد الكثير من الكائنات التي تتنافس للحصول على موردٍ معين في نظامٍ بيئيٍ ما. والكائنات التي لها القدرة على المنافسة والتفوق، سوف تفوز بهذا المصدر، ويزداد عددها في المستقبل، بينما بقية الأفراد ستصبح إلى زوال. وبالتالي سيصبح التشكيل العام للكائنات المتفوقة هو السائد، وهو الذي سيتم اختياره لاحقا للمشاركة في تشكيل الأجيال الجديدة. بينما الصفات غير الجيدة سوف يتمّ الاستغناء عنها شيئاً فشيئاً، والكائنات التي تحمل هذه الصفات سوف تنقرض.

## 2-2 تقنية الحساب التطوري: Evolutionary Computation (EC)

هي تقنيّاتٌ تعتمد نظرية التطور لداروين كمبدأٍ في البحث عن الحل الأمثل. في اتباع خوارزمية البحث، ينتج لدينا عدد كبير من الحلول الممكنة، وتكون مهمّة هذه التقنيات هنا إيجاد الحل الأمثل للمسألة المقدّمة من بين مجموعة الحلول الممكنة، خلال فترةٍ محددةٍ من الزمن. إذا كان فضاء البحث (مجموعة الحلول الممكنة) يضمّ عدداً قليلاً من الحلول، فإن عملية تقييم هذه الحلول حسب معادلة التابع الهدف، تتم لجميع أفراد المجتمع. ويتمّ عندها اختيار الحل الأمثل بسهولة، وخلال الفترة الزمنية المحددة. لكن هذه الطريقة في البحث سوف تصبح غير عمليةٍ ومستحيلةٍ حينما يأخذ المجتمع بالنمو، أي عندما يصبح عدد الحلول الممكنة كبيراً.

إنّ خوارزميات البحث التقليدية، سواءً نموذج البحث العشوائي مثل: (Random Walk)، أو طرائق البحث الموجهة مثل: (Gradient Descent)، يتمّ خلالها البحث عن الحل الأمثل عشوائياً، على أمل الحصول عليه خلال الفترة الزمنية المحددة. إنّ السمة الأساسية التي تميّز طريقة البحث التي تعتمد مبدأ التطور عن تلك التي تعتمد الطرائق التقليدية، هي في المجتمع الأولي (الأساسي)، Population-Based. حيث ومن خلال عملية التطور الناتجة عن مجموعة من الأجيال المتعاقبة، وإنتاج أفراد جددٍ أفضل تقييماً، فإنّ تقنية محاكاة نظرية التطور تشكّل وجهةً فعالةً للبحث. وهي أفضل من تقنية البحث العشوائي Random Search وغير حسّاسة لسلوك الطرائق الأخرى مثل Hill Climbing.

تبدأ عملية تقنية الحساب التطوري (EC) Evolutionary Computation بتطوير الأفكار الأساسية لعملية التطور البيولوجي وتمثيلها بشكلٍ حسابيٍّ علميٍّ. وبشكلٍ عامٍّ هنالك ثلاث قواعد أساسية تمكّننا من الفهم العميق لمحاكاة عملية التطور البيولوجي (الانتقال من جيل إلى آخر وبالتالي من مجتمع إلى مجتمع جديد) وهي:

الجينات التي يمثل كل منها عنصراً معيناً والتي تحمل تقييماً معيناً والتي لم يتمّ بعد تكوينها ضمن تشكيلٍ معين.

خصائص التكيف والتهيئة للترميز الجيني تشرح كيف يمكن لفردين مكونين من هذه الجينات أن يسهما في المفهوم العام لعملية التطوّر.

استكشاف الـ EC للغة التمثيل التي تساعد البيولوجيين في فهم عملية تركيب الهيكل الأساسيّ للحل Genotype وبيان نتيجة اختيار هذا التركيب Phenotype .

## 3-2 التطوّر التاريخي لعملية الحساب التطوري:

عند محاكاة نظرية التطور هنالك أربعة نماذج معروفة تستند إلى أساسيات نظرية التطور لداروين:

1- الخوارزميات الجينية genetic algorithms (Holland, 1975).

2- البرمجة الوراثية (الجينية) genetic programming , (Koza, 1992, 1994).

3- إدارة عملية التطور evolutionary strategies, (Recheuberg, 1973).

4- البرمجة التطورية evolutionary programming. (Forgel et al., 1966).

إنّ الاختلاف الأساسي بين هذه النماذج، تتمثّل في طريقة تمثيل الحل، وطريقة إعادة إنتاج واختيار الأفراد الجدد. وقد استخدمت هذه النماذج على نطاقٍ واسعٍ لإيجاد الحلّ الأمثل وخاصةً في العقدين الأخيرين. ومن أهمّ ميزاتها الأساسية عدم الحاجة إلى تشكيل معادلةٍ رياضيةٍ يتمّ من خلالها إيجاد الحلّ الأمثل، والتي هي في الغالب صعبة التشكيل. وكل ما نحن بحاجة إليه هو معادلة التابع الهدف Objective Function وبشكلٍ عامٍّ فهي تحلّ معظم المسائل سواء كانت خطيةً أم غير خطيةٍ. مستمرّةً أم غير مستمرّةٍ. معرّفةً أم غير معرّفةٍ. مقيّدةً بشروط طرفيةٍ أم حرّةٍ. ويمكن لـ EC أن تستخدم في الحقول التالية:

1. الحقل الطبي ( مثل تفجير الخلايا السرطانية )
2. التطبيقات الهندسية ( الكهربائية والمدنية – الميكانيكية – هندسة الإنتاج – المعلوماتية – البرمجيات – التحكم...).
3. حلّ مسألة البائع المتجول.
4. مسائل الذكاء الصنعي.
5. أنظمة الخبرة.
6. تصميم وإدارة الشبكات
7. الاتصالات السلكية واللاسلكية.....

## 2-4 ما هي الخوارزميات الجينية:

هي إحدى طرائق البحث التي تعتمد مبدأ التطور الصنعي، لإيجاد الحلّ الأمثل. وهي تعتمد على مبدأ داروين في التطور. حيث يتم من خلال هذه الطريقة، وبتطبيق مبدأ الاصطفاء الطبيعي (البقاء للأفضل)، الحصول على الأفراد ذوي التقييم الأفضل، والقادرين على التكيف مع البيئة المتجددة.

## 2-5 الخلفية البيولوجية لـ Biological Background GAs

في الطبيعة تتنافس الأفراد من أجل الحصول على الكلأ والماء والملجأ، وكذلك من أجل الحصول على الزميل والرفيق للتزاوج وإنتاج أجيال جددٍ، هذه الأجيال تخضع لعملية الاصطفاء، والأفراد ذوو التقييم الضعيف سوف ينقرضون، بينما يعود الأفراد ذوو التقييم الجيّد للمشاركة بإنتاج أجيال جديدةٍ. ويمكن الملاحظة من خلال عملية إعادة التوليد للأجيال الجديدة عن طريق التزاوج والطفرة أنّ الأفراد الجدد (الأبناء) سوف يمتلكون صفاتٍ أفضل من الأجيال السابقة (العائلة). (بسبب انقراض الأفراد ذوي التقييم السيّئ). هذا يعني أنّه بعد عدّة أجيال سوف نحصل على جيلٍ أكثر ملاءمةً وتكيفاً مع البيئة، يسمى الفرد الأفضل.

في العام 1975 وفي كتابه: "Adaptation in natural and artificial systems" طوّر جون هولاند هذه الفكرة لبناء أوّل خوارزمية جينية له. ثم طوّرت هذه النظرية بشكلٍ كبير فيما بعد من قبل علماء آخرين، لتصبح GAs الآن كأداةٍ قوية لحلّ مختلف مسائل الأمثلة. حيث تعتمد بشكلٍ أساسيٍّ على التمثيل الجيني والتقييم وإعادة الإنتاج. وأصبحت تستخدم على نطاقٍ واسعٍ لحل المسائل الحسابية المعقدة.[11]

تمتاز الخوارزميات الجينية GAs بسمتين أساسيتين:

1- **العشوائية:** وهي القاعدة الأساسية في الخوارزميات الجينية، حيث أنّ كلاًّ من عمليتي الاختيار وإعادة الإنتاج تتم بطرق عشوائيةٍ.

2- **فضاء البحث:** إنّ GAs تعتمد على المجتمع أو ما يسمى فضاء البحث (مجموعة الحلول)، والذي يحتفظ عند عملية إعادة الإنتاج وتشكيل مجتمعٍ جديد بالحلول التي تنتج أفضل الصفات. ومن ثمّ تحسين هذه الصفات بشكلٍ مطّردٍ عن طريق خلق حلول جديدةٍ، وهكذا

حتى الوصول إلى الحلّ الأمثل. كما أنّ هذا المجتمع يخضع لعملية التصنيف عند إعطاء كلّ فردٍ في المجتمع قيمةً معينةً حسب معادلة التابع الهدف وتابع الملاءمة. كما تبيّن أنّ المجتمع (الحلول) سهل الانقياد لعملية التوازي (Parallelization) أي القدرة على تقييم عدّة حلول بآنٍ واحدٍ، في حال توفّر معالجات بطاقةٍ مناسبةٍ.

إنّ قوّة الـ GAs في قدرتها على حلّ أيّة مسألةٍ دون الحاجة إلى متطلّبات خاصّةٍ، يجب أن تتوفّر في المسألة المدروسة، بل القدرة على تمثيل هذه المسألة بالشكل الجيني المناسب فقط. لهذه الأسباب مجتمعةً برزت تقنية الخوارزميات الجينية كأداةٍ حقيقيةٍ وقويّةٍ لإيجاد الحلول المثلى وخاصّةً لجهة حلّ المسائل التي يستحيل حلّها بالطرق الأخرى. من المهمّ ملاحظة أنّ الحلّ الذي يتمّ الوصول إليه بوساطة تقنية ال GA قد لا يكون الحلّ الأفضل، ولكنه بالتأكيد هو الحل الأمثل من بين جميع الحلول الممكنة التي تمّ الوصول إليها، والذي يستحوذ على الرضا من قبل الجهة الدارسة.

تستخدم تقنية الـ GA لحل المسائل التي تخفق الطرائق الأخرى في حلّها. وكذلك عند عدم توفر قاعدة بياناتٍ دقيقةٍ للمسألة المقدّمة للحلّ. كما أنّ تمازج هذه الطريقة مع الطرائق الأخرى سوف يضيف تحسيناتٍ كبيرة للحل الناتج. ولكن يجب أن ندرك أنّ الـ GA ليست الدواء الشافي لجميع الأمراض. هذا التحذير لهؤلاء الذين تغويهم هذه التقنية لمحاولة تجريبها على مختلف المسائل.

يقول المثل الدارج: "**إذا كنا نملك المطرقة فلا يجوز النظر إلى جميع المشاكل على أنها مسامير**".

## 6-2 الخوارزميات الجينية والتطور: Evolution and Genetic Algorithms

حاول ج. هولاند في كتابه (التكيف في الطبيعة وفي المجتمعات الصنعية)، Adaptation in Natural and Artificial System. أن يحقق هدفين أساسيين:[11]

**1**- فهم آلية التطوّر والتكيّف الطبيعي.

**2**- تصميم مجتمعٍ صنعيٍّ شبيه بالمجتمع الطبيعي، ومحاولة تطبيق آليّة التطوّر والتكيّف عليه.وهنا تكمن الفكرة الأساسية في مايلي:

إنّ الوعاء الجيني لمجتمع ما يمكن أن يحوي الحلّ الأمثل لمسألة تكيّفٍ معطاةٍ. ولكنّ هذا الحلّ قد لا يكون مفعّلاً، لأنّ التركيبة الجينية التي اعتمدت، يمكن أن تكون قد وزّعت أجزاء هذا الحل بين مجموعة حلولٍ، وبالتالي فإنّ تشكيل مجموعة من الكروموسومات هو الذي سوف يقودنا إلى الحلّ فقط. بتعبيرٍ بسيطٍ: إنّ كلّ صفةٍ يتمّ التحكم بها من خلال جينٍ معينٍ وليس من الضروري أن تكون تركيبة الجينات التي تشكّل الكروموسوم (الحل) سوف تعطي الحلّ الأمثل. ولكن من المؤكّد أنّ إعادة تركيب هذه الكروموسومات من خلال عمليات التصالب والطفرة والاختيار ولعدّة أجيالٍ سوف تؤدّي إلى إعادة تجميع هذه الصفات الجيّدة الموجودة في الحلول السابقة (العائلة للحلول الجديدة)، لتورّث هذه الحلول إلى الأطفال.

حقيقةً إنّ تقنيّة هولاند لاقت النجاح، لاعتمادها على الاختيار والتصالب والطفرة عند إعادة تركيب الكروموسوم الممثّل للحلّ، لإنتاج أجيال جديدةٍ ومتعاقبةٍ، وبالتالي الوصول إلى الحل الأمثل. وإعادة الإنتاج هي عملية جنسية بامتياز، وهي العملية المفتاحية للتطوّر، وتتمثّل في أخذ كروموسومين وإجراء التصالب بينهما لإنتاج حلٍّ جديدٍ، ويكون هذا التصالب في نقطة ما من السلسلة. وهي عمليّة مهمّة لأنها تسمح بانتقال الصفات من عائلتين مختلفتين وانتظامهما في عائلةٍ جديدةٍ. فإذا كانت هذه الصفات جيدةً فإنّ الفرد في الجيل الجديد سوف يحمل هذه الصفات ويورّثها لأبنائه وأحفاده عبر عدّة أجيالٍ. وبتطبيق مبدأ الاصطفاء الطبيعي سوف تبقى الأفراد ذات الصفات الممتازة التى ورثتها عن أسلافها. من خلال ما سبق رأينا كيف يقوم الأفراد في الطبيعة بتخزين السمات والصفات وتوريثها إلى الأجيال الجديدة، وهي معلومات كافية للفهم الدقيق لتقنية الخوارزميات الجينية.

داروين لم يكن مدركاً بشكلٍ كافٍ لكل قواعد الهندسة الجينية، ولكننا نعلم الآن كيف يتمّ توارث الصفات وكيف يتمّ محاكاة ترميز الـ DNA و RNA وتخزين المعلومات بوساطتها باستخدام الكومبيوتر.

## 2-7 مقارنة بين تقنية الخوارزميات الجينية والتقنيات الأخرى

1- تعمل GAs من خلال ترميز بارامترات المسألة المقدّمة وليس من خلال البارامترات نفسها، أي تتعامل مع ترميز الحلّ، وليس مع الحلّ نفسه.

2- تبحث GAs من خلال مجتمع الحلّ ككلّ وليس الانطلاق من نقطة بحثٍ محددةٍ كما هو الحال في التقنيات الأخرى.

3- تستخدم GAs مسألة التابع الهدف لتقييم الحلّ دون اللجوء لعملية التمثيل بمعادلات، والاشتقاق للحصول على نقاط النهاية المحلية، ويمكن تزويدها لحلّ المعادلات المستمرّة وغير المستمرّة.

4- تستخدم GAs قوانين الاحتمال عند الانتقال من مرحلة لأخرى، بينما يتمّ استخدام طرائق الانتقال الحتمية في الطرق الأخرى.

## 2-8 مزايا تقنية الخوارزميات الجينية: Advantages of GA

1. التوازي.
2. الموثوقية.
3. فضاء البحث واسع جداً.
4. من السهل استكشاف الحلّ الأمثل.
5. يمكن للمسألة أن تحلّ وتحققّ عدّة توابع هدفٍ بآنٍ واحدٍ.
6. تستخدم مبدأ التطور والاصطفاء.
7. سهلة التعديل لتناسب مسائل مختلفة.
8. تعالج المسائل الفوضوية بشكلٍ جيد.
9. عدم الحاجة لمعرفة معلوماتٍ مسبقةٍ عن المسألة المدروسة.
10. تعالج فضاءات البحث غير المفهومة بسهولة.
11. لا تأثير لعدم الاستمرارية في البحث عن الحلّ الأمثل.
12. محصنة ضدّ الوقوع في فخّ النهايات المحلية.
13. قابلية التمثيل بشكل ممتاز من أجل المسائل المعقدة.
14. يمكن أن تزود لمسائل إيجاد الحل الأمثل في مختلف الحقول.

## 2-9 أدوات ومصطلحات الـ GA: Terminologies and Operators

### 2-9-1 الأفراد: individuals

الفرد هو حلّ. وبالتالي فإنّ هذه الأفراد تشكّل مجتمعةً شكلين من الحلول:

1- **الكروموسومات:** صف من الجينات، وتدعى النمط الجيني(Genotype)، والتي تعالجها تقنية الـ GA .

2- **نتاج الحل:** ويدعى النمط الظاهري (Phenotype)، والتي تبيّن نتائج عملية الـ GA على الكروموسومات.

كلّ جزء من الفرد (الحل) يمثّله جين. وهذا الجين يملك معلوماتٍ عن الحلّ أو عن جزءٍ منه.

كلّ الحلول المشكلة للمجتمع الأولي بجب أن تمثّل على الأقل بكروموسومٍ واحدٍ. ليتمّ التأكد من أنّ جميع الجينات المشكلة للحلول قد تمّ إشراكها في الحلّ. إنّ وجود أفرادٍ في المجتمع يحملون درجة تقييمٍ سيّئةٍ بشكلٍ قليلٍ ليس بالشيء السيئ، بل يمكن من خلال مشاركته في إنتاج الأجيال الجديدة أن يعطي أفراداً جيدين. لكنّ وجود هؤلاء الأفراد بشكلٍ كبيرٍ سوف يؤثّر على نتائج استخدام الـ GA ويمكن أن يسبّب بعض الإرباك خلال البحث.

### 2-9-2 الجينات: Genes

هي اللبنة الأساسية في بناء الكروموسوم، حيث إنّ الكروموسوم هو سلسلة متعاقبة من الجينات. وتشكيل هذه الجينات يمثّل الحلّ المقترح للمسألة المقدّمة دون أن يكون هو الحلّ بذاته. (الجين هو عبارة عن سلسلة من البيتات (Bits ] بطولٍ محدد) ويكون عندها الكروموسوم الممثّل للحلّ هو سلسلة طويلة من البيتات (0-1 ) مقسّمة الى أطوال محددةٍ متتاليةٍ يحوي كلّ قسمٍ عدداً من البيتات تمثّل بدورها قيمةً معينةً للجين، وله طول معيّن ( n ). يمثل ( 2n-1 ) تقسيمةً متساويةً. يمكن القول إنَّ عملية الترميز أو التشفير( Encoding) تحوّل الحلّ للمسألة المقدّمة أو مايسمى النمط الظاهري (Phenotype) الى سلسلةٍ من الجينات تدعى الكروموسوم أو ما يسمى النمط الوراثي (Genotype )، وذلك لتمكين تقنية الGAs من التعامل معها. وعملية فكّ التشفير (Decoding) تحوّل الكروموسوم (Genotype) الناتج بعد استخدام هذه التقنية، إلى حلٍّ (Phenotype)، ليصار إلى تقييمه حسب معادلة التابع الهدف، وبيان مدى ملاءمته للشروط المطلوب تحقيقها.

### 2-9-3 معادلة التابع الهدف: Objective Function

وهي المعادلة المطلوب تحقيقها. قد تكون الكلفة الأقلّ هي التابع الهدف، أو قد تكون الفائدة العظمى، أو قد يكون الحلّ الأمثل والذي يحقّق معادلة التابع الهدف، هو الذي يحقق الهدفين السابقين معاً. وقد يكون غير ذلك حسب الحقل الذي يتمّ العمل فيه.

### 2-9-4 تابع التقييم (الملاءمة): Fitness

إنّ قيمة الكروموسوم Genotype في الـ GAs هو القيمة الناتجة عن التابع الهدف، عند تقييم الحلّ الناتج Phenotype. إذاً للقيام بعملية التقييم بعد الحصول على كروموسومٍ جديدٍ، يجب القيام بعملية فكّ الترميز، ومن ثمّ عملية تقييم الحلّ الناتج حسب معادلة التابع الهدف.

تجدر الإشارة إلى أنّ الغاية من التقييم ليس فقط بيان جودة الحلّ، بل إنّه يشير إلى مدى اقتراب هذا الحل من الحل الأمثل. بعد ذلك يتمّ تحديد تابع الملاءمة، وهو الذي يحدّد مدى ملاءمة كلّ حلٍّ للمشاركة في إنتاج الأجيال الجديدة، ويتمّ تعريف تابع الملاءمة عادةً كنسبة قيمة الحل (الكروموسوم) حسب التابع الهدف إلى مجموع قيم الحلول المؤلفة للمجتمع الأولي.

$$fi = Fi / \sum F$$

حيث:

Fi : قيمة الحل حسب التابع الهدف.

$\sum F$: مجموع قيم الحلول في المجتمع الأولي.

وكلّما كانت هذه القيم مرتفعةً زاد احتمال اختيار هذا الحل للانتقال إلى المجتمع الجديد، والمشاركة في إنتاج أجيال جديدة.

### 2-9-5 المجتمع الأولى (فضاء الحلول): Initial Population

هو مجموعة من الحلول المقترحة للمسألة المدروسة والتي تمّ حساب قيمتها حسب معادلة التابع الهدف. إنّ أهمّ معيارين في أي فضاء بحث (مجتمع) هما:

1. اختيار الأفراد لتكوين المجتمع الأولي.
2. اختيار حجم هذا المجتمع.

يفضّل أن يكون المجتمع الأولي مكوّناً من مجموعة حلولٍ ذات مستوى تقييمٍ جيدٍ. كما يجب أن يكون المجتمع الأولي كبيراً بشكلٍ كافٍ، من أجل الإحاطة واستكشاف جميع جوانب هذا الفضاء، وحيث تكون قيم كلّ الجينات الممكنة ممثّلة في أحد هذه الحلول على الأقلّ. وللحصول على ذلك يجب اختيار الأفراد المكونين لهذا المجتمع بشكلٍ عشوائيٍّ قدر الإمكان في معظم الحالات.ويمكن اختيار طرقٍ مساعدةٍ لاختيار هؤلاء الأفراد (سيتمّ لاحقاً شرح طرائق الاختيار). مثلاً: إنّ الأفراد ذوي التقييم الأعلى يجب أن يتمّ اختيارهم لأن ذلك يساعد تقنية الGAs لإيجاد الحلّ الأمثل بشكلٍ أسرع. ويجب عند اختيار حجم المجتمع مراعاة أن لايزيد عن حجمٍ معينٍ، وإلاّ فإنّ تقنية البحث سوف تبحث في جزءٍ من المجتمع فقط، وتتوه بذلك عن الوصول إلى الحلّ الأمثل. على الرغم من أنّه كلما كبر حجم المجتمع الأوّليّ أصبح من الأسهل استكشاف فضاء البحث، ولكن ذلك يحتاج لوقتٍ هائلٍ ليتقارب الحلّ نحو الحلّ الأمثل. ويمكن القول إنّ الحلّ الناتج يتقارب باتجاه الحلّ الأمثل عندما يصبح جميع الأفراد متشابهين ويصبح العامل الوحيد الذي يمكن أن ينتج حلولاً جديدةً خلال التصالب هو عملية الطفرة.

عدّ Goldberg أنّ الوصول إلى النهاية العظمى بدلاً من الوقوع في فخّ النهايات المحلية يحدّده بشكلٍ أساسيٍّ حجم المجتمع الأوليّ. ولذلك فإنّ حجم المجتمع الكبير هو الأفضل، لكنّه يحتاج إلى كومبيوتر بطاقاتٍ عاليةٍ لحساب جميع الحلول واختيار الحلّ الأمثل. عملياً وجد أنّ حجم المجتمع المثاليّ بين (50−100 )، هو الغالب. ولكن يمكن لهذا الرقم أن يكبر أو يصغر تبعاً لظروف المسألة المدروسة، وتطوّر المعالج المستخدم في الحساب.

## 2−10 خطوات العمل: Search Strategies

### 2−10−1 الترميز: Encoding

بعد تشكيل المجتمع الأولي (اختيار مجموعةٍ من الحلول تمثّل جميع الجينات)، وتقييم هذه الحلول حسب معادلة التابع الهدف، يتمّ ترميز هذه الحلول لتمكين تقنية GAs من العمل عليها. ويمكن أن تتمّ عملية الترميز باستخدام البتّات Bits ، أو باستخدام الأعداد الصحيحة أو الحقيقية أو بالأحرف أو بالتمثيل الشجري، وذلك تبعاً لطبيعة المسألة المقدّمة. نبيّن فيما يلي أهمّ الطرائق المستخدمة في الترميز:

### 2-10-1-1 الترميز بطريقة نظام العد الثنائي: Binary Chromosomes

تعدّ هذه الطريقة من أكثر الطرائق شيوعاً في الترميز، حيث يتكون كل كروموسوم من سلسلة من البتات (Bits) تأخذ القيم ( 0s أو 1s). وكل بتٍّ يملك بعضاً من سمات الحل شكل (2-1). لذلك فإنّ كلّ سلسلةٍ من البتات تشكّل حلاًّ. ويمكن لسلسلة البتّات (الجين) أن تمثّلّ رقماً صحيحاً، أو عدداً حقيقيّاً، أو رقم حقلٍ معيّنٍ. لكن هنالك الكثير من المسائل، لايمكن استخدام هذه التقنية في ترميزها، فيتمّ اللجوء إلى طرائق أخرى.

| | |
|---|---|
| الكروموسوم1 | 101 01101000100111010110 |
| الكروموسوم2 | 1 0 1 00 1010101101101110 |

الشكل (2-1): نظام الترميز الثنائي.

### 2-10-1-2 الترميز بواسطة الأعداد الحقيقية: Real Number Coding

يتمّ الترميز في هذه الحالة بالأعداد الحقيقية كما هي، (أي بقيمة الجين) الذي يمثّل جزءاً من الحل، (قطر الأنبوب مثلاً). ولكن يتطلّب الأمر عادةً إجراء تصحيحاتٍ على بعض السلاسل عند كلّ جيلٍ، (لإسقاط الجينات التي تبقى ثابتةً).شكل (2-2)

| | |
|---|---|
| الكروموسوم1 | 1.23,0.53,3.79,12.25,6.58,3.14,8.72 |
| الكروموسوم2 | 3.41,7.35,9.43,5.55,6.25,5.89,4.67 |

الشكل ( 2-2): التمثيل بوساطة الأعداد الحقيقية.

### 2-10-1-3 الترميز بوساطة الأعداد الصحيحة: Integer Number Coding

يتمّ الترميز في هذه الحالة بالأعداد الصحيحة. شكل (2-3).

| | |
|---|---|
| الكروموسوم1 | 12,10,34,06,09,60,78,76,73,91,15 |
| الكروموسوم2 | 200,100,300,090,450, 250,150,700 |

الشكل ( 2−3): التمثيل بوساطة الأعداد الصحيحة.

### 2−10−1−4 الترميز بوساطة النظام الست عشري: Hexadecimal Encoding

كماهو موضّح بالشكل (2−4).

| | |
|---|---|
| الكروموسوم1 | 9D5C7A8B |
| الكروموسوم2 | 23S7D5BF |

الشكل (2−4): التمثيل بوساطة النظام الست عشري.

### 2−10−1−5 الترميز بوساطة القيمة الحقيقية: Value Encoding

يتمّ ترميز العناصر كما هي بقيمتها الحقيقية، سواء كانت ما تمثله رقماً أو حرفاً أو صفةً أو سمةً يتميّز بها هذا الجين، وتتمّ كما في الشكل (2−5):

| | |
|---|---|
| الكروموسوم1 | 2.4545 2.3293 0.4556 5.3243 1.2324 |
| الكروموسوم2 | ABDJEIFJDHDIERJFDLDFLFEGT |
| الكروموسوم3 | أخضر، أسود، بني، أزرق، أحمر ، رمادي |

الشكل (2−5): التمثيل بوساطة القيمة الحقيقية.

تشير تقنية الـ GAs إلى أنّه مهما كانت التقنية المتبعة في الترميز فإنّه يجب إجراء تصحيحاتٍ على عملية الترميز بعد عدّة أجيال وبشكلٍ مستمرٍ من أجل إسقاط الجينات التي تعاني من الثبات.

## 2-10-2 ترتيب المجتمع الجديد: Breeding

تعدّ هذه العملية العمود الفقري لتقنية الخوارزميات الجينية. والتي تتمّ من خلال القيام بالعمليات الثلاث التالية:

1. اختيار العائلة.
2. إجراء التصالب بين الفردين اللذين تمّ اختيارهما لإنتاج جيلٍ جديد.
3. إجراء التبديل لأفراد الجيل الأول بأفراد الجيل الثاني حسب تقييم كلٍّ منهما لتكوين المجتمع الجديد.

### 2-10-2-1 الاختيار: Selection

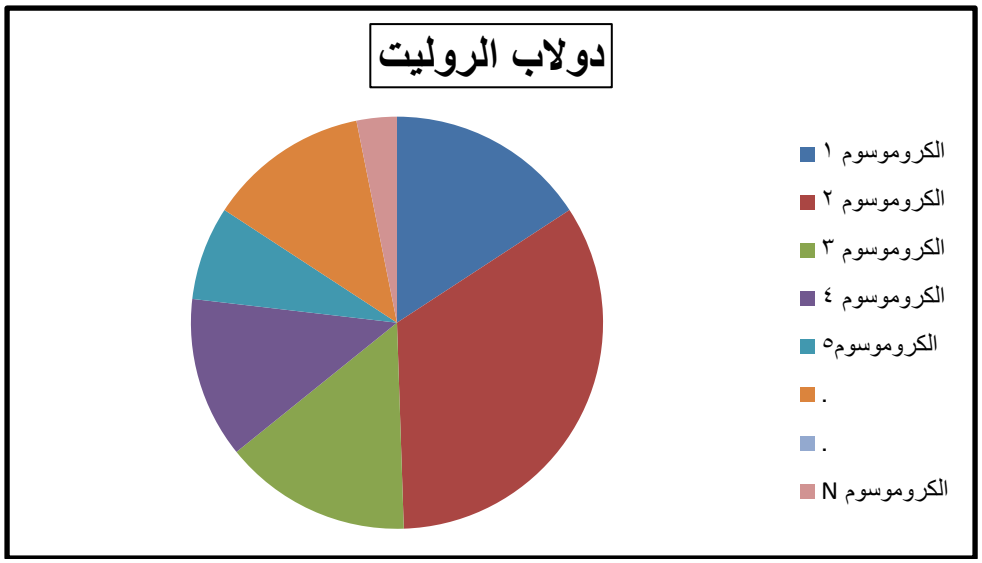
تستخدم هذه العملية لانتقاء فردين من المجتمع الأولي، ليتمّ إجراء التصالب فيما بينها، وإنتاج أفراد جددٍ بعد أن يتمّ الانتهاء من عملية الترميز لجميع الحلول. ولكن هنا يتمّ التفكير بالطريقة التي سوف تتّبع للقيام بهذا الاختيار، مع مراعاة قيمة الملاءمة لكلّ فردٍ، ودور الطريقة المتبعة في الاختيار، هي التأكيد على وجود الأفراد الأفضل للمشاركة في عمليّة إنتاج الجيل الجديد، أملاً في الحصول على أفراد يملكون تقييماً أعلى. تقول نظرية داروين أنّ الأفراد ذوي التقييم الأعلى يجب اختيارهم كعائلةٍ من أجل إعادة إنتاج أفراد أعلى تقييماً. لكنّه وبسبب وجود الصفات الغالبة والصفات المتنحية فإنّ تلك الفكرة لا تبدو سديدةً. إنّ الاختيار الموفق منذ البداية يقود تقنية ال GAs إلى النجاح في توليد أفراد الأجيال التالية. هنالك مبدأان أساسيان في الاختيار: الأوّل هو ترتيب الأفراد في المجتمع بشكل يتناسب مع قيمة كل فرد، ومن ثمّ اختيار الأفضل تدريجياً للمشاركة في الجيل الجديد. والثاني هو اختيار الأفراد اعتماداً على رتبتهم في المجتمع، دون النظر إلى تقييمهم. بيد أن هنالك رأيا آخر يقول بأنّ طريقة حساب التابع الهدف والقيمة الناتجة تحدد طريقة الاختيار فمثلاً إذا كانت قيم التابع الهدف لجميع الأفراد تتراوح بين (998 و 1000) أي بمدىً مساوٍ إلى 2 فإنّ عمليّة الاختيار ليست بتلك الأهمية، بسبب التقارب الهائل في قيمة التابع الهدف بين مختلف الأفراد. بينما إذا كانت قيم التابع الهدف تتراوح بين (0 و2 ) والمدى هنا يساوي إلى 2 فإنّ عملية الاختيار تكتسب أهميةً كبيرةً جدّاً. لذلك يجب البحث عندها عن تابعٍ اختيار ينظر بأهميّةٍ كبيرةٍ الى هذا المدى الصغير .

نوجز في مايلي شرحاً لأهمّ طرائق الاختيار المتّبعة في انتقاء الأفراد للقيام بعملية التصالب:

Roulette wheel selection  Uniform gross selection, Tournament selection, Rank Selection.

**الاختيار بطريقة دولاب الروليت: Roulette wheel Selection**

يتمّ في هذه الطريقة تقسيم الدولاب إلى قطّاعات تتناسب مع قيم الملاءمة لكل فردٍ من المجتمع fi، شكل (2–6)، حيث إنّ مجموع قيم الملاءمة لجميع الأفراد يساوي إلى 1. ويتمّ تدوير هذا الدولاب حول محوره أمام مؤشّرٍ. لا ريب أنّ الفرد الذي يملك أكبر قيمة ملاءمةٍ سوف يملك أكبر قطّاعٍ على الدولاب، وبالتالي حظوظاً أكبر في الترشح للقيام بعملية التصالب. يبيّن الشكل التالي طريقة دولاب الروليت.




الشكل ( 2–6) طريقة تمثيل الأفراد والاختيار بواسطة دولاب الروليت.

**الاختيار العشوائي:Random Selection**

يتمّ اختيار الأفراد من أجل التصالب بهذه الطريقة عشوائياً، دون الاعتماد على أيّة قاعدةٍ، بالنظر إلى أنّ اختيار الأفراد بالأصل لتشكيل المجتمع الأولي كان عشوائياً. وتعدّ هذه الطريقة أقلّ استخداماً من التقنية السابقة.

**الاختيار بوساطة الترتيب: Rank Selection**

عند اختيار طريقة دولاب الروليت، وفي ظل وجود أحد الأفراد في المجتمع له تابع تقييم مسيطر بشكل مطلق (حوالي 90% مثلا)، فإنّ هذا الفرد سوف يحظى بنسبة اختيارٍ عظمى على حساب باقي الأفراد. لذلك ارتأى بعض الباحثين أن يتمّ ترتيب الأفراد في المجتمع الأولي حسب درجة

الملاءمة، ويعطى لآخر فرد في الترتيب قيمة = 1 فتكون قيمة الفرد ذو التقييم الأفضل=n حيث n هي عدد أفراد المجتمع الأولي. ثم يتم تمثيلها على دولاب الروليت بالخطوات السابقة نفسها.

### 2-2-10-2 عملية التصالب: (Crossover Recombination)

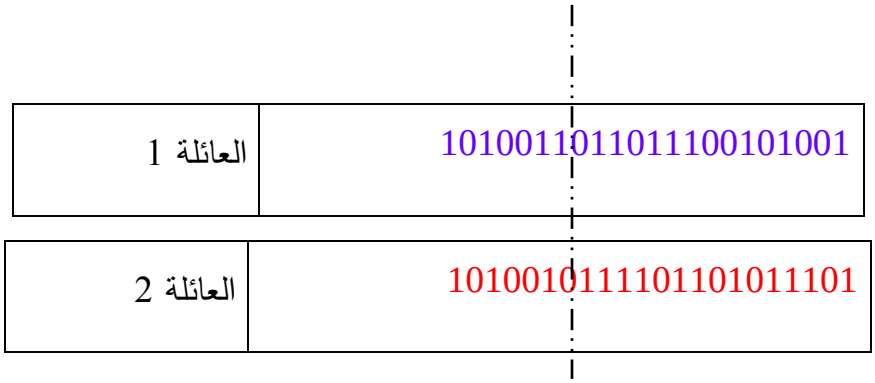
وهي عمليّة يتمّ بموجبها أخذ فردين من المجتمع الأولي (كروموسومين) أو(العائلة)، وإجراء عملية التصالب بينها لإنتاج كروموسومين جديدين أو (طفلين). إنّ عمليّة الاختيار وإعادة الإنتاج سوف تنتج بعد انتهائها مجتمعاً جديداً غنياً بأفراد يملكون قيم ملاءمةٍ جيّدةٍ، لكنّه لا يغيّر في هذه الأفراد. لذلك فإنّ تزويد عمليّة التصالب إلى فضاء الحل بعد الاختيار سوف يؤدي إلى إنتاج أفراد أفضل. فالتصالب هو عمليّة مزج تتم بين فردين وفق الخطوات الثلاث التالية:

1. اختيار فردين من فضاء الحلّ الجديد عشوائياً.
2. اختيار نقطةٍ ما عشوائياً على طول السلسلة لتتمّ عمليّة القطع عندها.
3. التبادل بين جزئي الكروموسومين من نقطة القطع. وبالتالي إنتاج فردين جديدين.

هذه بكل بساطة عملية التصالب حيث يتمّ قبل نقطة القطع أخذ جميع جينات الفرد الأول قبل هذه النقطة وبعد نقطة القطع أخذ كل جينات الفرد الثاني بعد هذه النقطة. وفي مايلي شرحا لأهمّ طرق التصالب المتّبعة:

**التصالب في نقطة وحيدة: Single Point Crossover**

في هذه الحالة يتم اختيار كروموسومين، وتحديد نقطة ما عشوائياً على طول السلسلة، وتمّ القطع عندها، ومن ثمّ التبادل بين العائلتين اعتباراً من نقطة القطع، كما في الشكل (2-7).



| | |
|---|---|
| الطفل 1 | 1010011011001101011101 |

| | |
|---|---|
| الطفل 2 | 1010010111111100101001 |

الشكل (2–7) التصالب في نقطة وحيدة.

**التصالب في نقطتين: Two Points Crossover**

حيث يتمّ اختيار نقطتين عشوائياً على طول الكروموسومين المختارين. ويتمّ التبادل بين هذين الكروموسومين، حسب الشكل (2–8).

| | |
|---|---|
| العائلة 1 | 1010011011011100101001 |
| العائلة 2 | 1010010111101101011101 |
| الطفل 1 | 1010010111101100101001 |
| الطفل 2 | 1010011011011101011101 |

الشكل (2–8) التصالب في نقطتين.

**التصالب في عدة نقاط: Multi-Point Crossover**

يتمّ في هذه الحالة التصالب في عدّة نقاطٍ عشوائيةٍ من سلسلتين من الكروموسومات، ويتمّ التبادل بين أجزاء هذه الكروموسومات بشكلٍ دائريٍ.

**التصالب بإشراك ثلاث عائلات لإنتاج طفل: Three Parent Crossover**

يتمّ التصالب من خلال اختيار ثلاث كروموسومات لها الطول نفسه، ويتمّ ترتيبها بشكل ثلاثة صفوفٍ. ثمّ يتمّ تشكيل الكروموسوم الجديد بوضع 0 إذا كان هنالك توافقاً في ترتيب صفرين على الأقلّ عمودياً، وبوضع 1 إذا كان هنالك توافق في ترتيب واحدين عمودياً، كما هو موضّح في الشكل (2–9):

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| العائلة 1 | **0** | **0** | **1** | **1** | **0** | **0** | **1** | **0** |
| العائلة 2 | **1** | **0** | **0** | **1** | **1** | **1** | **0** | **0** |
| العائلة3 | **1** | **1** | **1** | **0** | **1** | **0** | **1** | **0** |
| الطفل | **1** | **0** | **1** | **1** | **1** | **0** | **1** | **0** |

الشكل (2-9): التصالب بإشراك ثلاث عائلات لإنتاج طفل.

**التصالب المنتظم: Uniform Crossover**

هو أحد أهمّ أشكال التصالب وأكثرها موثوقيّة ويتم عن طريق اختيار سلسلتين من المجتمع الأولي ومن ثمّ اختيار كروموسومٍ منفّذٍ بشكلٍ عشوائيٍّ يسمّى الوسيط. يوضع في الصف الثاني بين الكروموسومين الأول والثاني. ويتمّ مقارنة البتات بين الكروموسوم الوسيط و الكروموسوم الأوّل فحيثما يكون البت = 1 في الوسيط يتم وضع الرقم الموافق للبت من العائلة 1 ، وحيثما يكون البت = 0 نضع الرقم الموافق للبت من العائلة 2 في المكان الموافق له من الكروموسوم الطفل كما هو موضّح بالشكل(2-10).

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| العائلة 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| الكروموسوم الوسيط | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| العائلة2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| الطفل | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |

الشكل (2-10) التصالب المنتظم.

### 2-10-2-3 النخبة: Elitism

وتستخدم هذه التقنية لحماية الكروموسومات ذات التقييم الأفضل من الخضوع لعمليات التصالب والطفرة، وبالتالي احتمال الاستبعاد. أي يتمّ الاحتفاظ بهذه الكروموسومات كما هي، وتنقل إلى الجيل التالي، لتسهم في إنتاج جيلٍ جديدٍ، وعمليّة الانتخاب تسرّع إنجاز عملية الـ GA في الحصول على الحلّ الأمثل.

### 2-10-2-4 التبديل:Replacement

تعني أن يتمّ اختيار أفضل حلّين من الحلول الأربعة، لينتقلا إلى المجتمع الجديد. أي بكلام آخر: نقوم باختيار كروموسومين P1_P2 من العائلة ثم نوجد التقييم لهما :

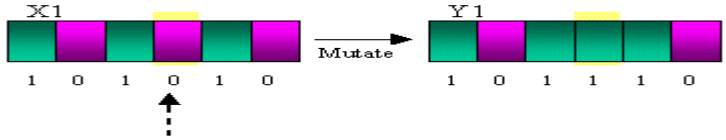
Fp1 of P1 = 2.4 , Fp2 of P2 = 5.3 وبعد التصالب نوجد التقييم للطفلين :

Fc1 of C1= 3.7 , Fc2 of C2 = 6

يتمّ انتقال الحلّين P2 - C2 تلقائياً للانتقال إلى فضاء العيّنة الجديد (المجتمع الجديد) ويتمّ استبعاد الفردين C1- P1

### 2-10-2-5 الطفرة: Mutation

للحصول على تمثيلٍ حقيقيٍّ لعمليّة التطور، فإن عمليّة الطفرة يجب أن تسهم في خلق الأجيال الجديدة، عن طريق الخطأ العشوائيّ في تغيّر موقع الجين في الكروموسوم، أو تبديل بين جينين في كروموسومين.شكل (2-11)، إنّ عمليّة الطّفرة تمنع عمليّة الـ GAs من الوصول للحلّ الأمثل بسرعة، مما يعطي الفرصة لأفراد كثر جددٍ للمشاركة في الجيل الجديد.




الشكل (2-11): الطفرة

هنالك ثلاث بارامترات يجب أن تحدّد قبل عملية التصالب لإنتاج جيلٍ جديدٍ.

وهي:

1. نسبة التصالب Percent of Crossover: تحدّد عدد الكروموسومات الداخلة في عمليّة إنتاج أجيال جديدةٍ. ويعبّر عنها بنسبةٍ مئويةٍ و تؤخذ عادةً (0.95) .
2. نسبة الطفرة Percent of Mutation: تحدّد نسبة الكروموسومات التي ستخضع لعملية الطفرة، ويعبّر عنها أيضاٍ بنسبة و تؤخذ عادة (0,1~0,001) .
3. حجم المجتمع Pool Size: أي عدد الكروموسومات في المجتمع ويؤخذ عادةً (60~100).

## 2-11 أدوات الـ GA :

يوضّح المثال التالي الخطوتين الأوليّتين من تقنيّة الـ GAs المبسّطة. ويساعد في فهم تطوّر هذه العملية.[30]

باعتبار أن المسألة هي إيجاد أعظم قيمة للتابع $f(x)= x^2$ حيث x تمثل متغيّراً بين 0 و 31 بخمس بيتّات ( نظام العد الثنائي). يجب إعطاء فكرة عن كيفية تمثيل الأعداد بالنظام العشري بمقابلاتها في نظام العد الثنائي. إنّ نظام العد الثنائي يتألّف من عنصرين فقط، هما (0,1). فمثلاً العدد (10) يمثل بنظام العد الثنائي بالشكل (01010 ) أي 10/2=5 والباقي 0، ثم 5/2=2 والباقي 1 ثم 2/2=1، والباقي 0 ثم1/2=0، والباقي 1 ثم نكمل السلسلة إلى خمس بيتّات بإضافة0، فتصبح 01010. وهكذا يمكن ان نحصل على أعضاء أو أفراد بين (00000) (0) و(11111) (31). وسنقوم الآن بمحاكاة جيل واحد من الـ GA بإعادة إنتاج وتقطيع وإحداث طفرةٍ، وللبدء بذلك سوف نختار مجتمعاً أولياً. قمنا باختيار مجتمعٍ من أربعة أفرادٍ بطريقة رمي قطعة نقود 20 مرّة. جدول(2-1).

تمّ اختيار الأفراد المشاركين في المجتمع الجديد بطريقة تدوير دولاب الروليت، _ والذي مثّلت عليه القطاعات التي تمثّل قيمة كل فردٍ _ أربع مرّات، فوجدنا أنّ الكروموسوم الأوّل والرابع يشاركان مرّةً واحدةً في المجتمع الجديد، والكروموسوم الثاني يشارك مرّتين، فيما يستبعد الكروموسوم الثالث. بمقارنة العدد الفعلي من النسخ مع العدد المتوقّع، نستخلص بأنّ الكروموسومات ذات التقييم الأعلى تأخذ نسخاً أكثر في المجتمع الجديد. وحتى الكروموسومات ذات التقييم المتوسط تبقى، بينما تخرج الكروموسومات ذات التقييم السيّئ.

جدول (2-1): طريقة ترميز وحساب قيمة الحلّ الناتج.

| رقم السلسلة No | المجتمع الاولي (تم توليده بشكل عشوائي | قيمة x | $F(x)=x^2$ | $Fi/\sum f$ | Fi/f | عدد السلاسل التي ستنتقل الى الجيل التالي |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 01101 | 13 | 169 | 0.14 | 0.58 | 1 |
| 2 | 11000 | 24 | 576 | 0.49 | 1.97 | 2 |
| 3 | 01000 | 8 | 64 | 0.06 | 0.22 | 0 |
| 4 | 10011 | 19 | 361 | 0.31 | 1.23 | 1 |
| sum∑f | | | 1170 | 1 | 4 | |
| متوسط f | | | 293 | 0.25 | 1 | |
| Max f | | | 576 | 0.49 | 1.97 | |

جدول(2-2): طريقة ترميز وحساب قيمة الحلّ الناتج.

| السلاسل التي سيتم تطبيق التصالب والطفرة عليها | اختيار السلاسل التصالب بشكل عشوائي | اختيار نقطة التصالب بشكل عشوائي | المجتمع الجديد | قيمة x | $F(x)=x^2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 01101 | 1—2 | 4 | 01100 | 12 | 144 |
| 11000 | 1—2 | 4 | 11001 | 25 | 625 |
| 11000 | 3—4 | 3 | 11011 | 27 | 729 |
| 10011 | 3—4 | 3 | 10000 | 16 | 256 |
| sum∑f | | | | | 1754 |
| متوسط f | | | | | 439 |
| Max f | | | | | 729 |

بوجود مجتمع من السلاسل .يلاحظ بأن التصالب البسيط تمّ بخطوتين:

**الخطوة الأولى:** تتمثّل بالاختيار العشوائيّ للسلاسل لتشكيل زوج من الكروموسومات.

**الخطوة الثانية:** الاختيار العشوائي لموقع التصالب باستخدام طريقة رمي قطعة النقود أيضاً لتحديد موقع نقطة القطع. (في هذا المثال تمّ اختيار طريقة القطع في نقطةٍ واحدة) بالإشارة مرّةً أخرى إلى الجدول (2-2) أنّ هنالك فرصة عشوائية فرضت تزاوج بين الفردين1و2، وذلك في موقع القطع بعد الرابع، فان الفردين (01101) و(11000) أعطيا بعد التصالب فردين جديدين، هما (01100) و(11001). الفردان الآخران 3 و4 تم القطع فيهما بعد البتّ الثالث. العمليّة الأخيرة هي الطفرة Mutation، تنجز على مبدأ حلول بتٍّ مكان بتٍّ آخر (bit-by-bit) بافتراض أنّ فرصة حصول الطفرة هي 0.001. وبما أنّ هنالك 20 بتّاً يشاركون في الوعاء، فإنّ هنالك احتمالاً 0.001*20=0.02 بتّ سوف يخضع لعمليّة الطفرة. وبهذه النسبة فإنّه من غير الجائز حصول طفرةٍ. وبمتابعة عمليّة إعادة الإنتاج والتصالب والطفرة، فإنّ المجتمع الجديد يصبح جاهزاً للاختبار. نجري عمليّة الترميز لعناصر المجتمع الجديد x ، ثمّ نقوم بحساب تابع الهدف f(x) لكل فرد تمّ ترميزه.

نلاحظ أنّ متوسّط تقييم أفراد المجتمع تحسّن من 293 إلى 439 كذلك القيمة العظمى لـ f(x) قد زادت من 576 إلى 729 خلال الفترة ذاتها. وكذلك عمليّة الاختيار العشوائي أعطت هذه الظروف المواتية. بدأنا نرى أنّ هذه النتيجة لم تأت بطريق الصدفة، إنّ العنصر (11000) ذا التقييم الأفضل في المجتمع الأولي أُعطي فرصتين للمشاركة في المجتمع التالي. وعندما تزاوج هذا الفرد مع الفرد الثاني في التقييم (10011) والذي تمّ قطعه في الموقع الثالث وبطريقة عشوائيّة أيضاً. فإنّ إحدى نتائج السلاسل (11011) برهنت أنّ فرصه جيدة في الحقيقة.

## 2-12 استخدام تقنيّة الـ GAs في مجال الموارد المائيّة :

هنالك فروع كثيرة من العلوم استفادت من تقنية ال GA لإيجاد الحل الأمثل منها الموارد المائية لا بل هنالك أقسام ضمن الموارد المائية استخدمت هذه الطريقة لإيجاد الحل الأمثل.

Simpson(1993),Simpson(1994),Simpson(2000).Dandy(1996).Kahraman

Savic and walters(1997), Morely(2000), قاموا باستخدام هذه الطريقة لإيجاد الحلّ الأمثل لتوضّع سكورة التحكم على الشبكة. الحل الأمثل للتحكم بالسكورة – معايرة نظام توزيع المياه– الإدارة الهيدروليكية لنظام توزيع المياه. وإيجاد الحلّ الأمثل لتشغيل المضخات والتي يمكن أن تجدول كعمليّة أَمثَلَة.

وللفهم الدقيق لآلية تطبيق تقنية الخوارزميات الجينية على شبكة مياه، سنقوم بشرح خطوات الGAs:[24]

## 2-13 خطوات عملية الـ GAs:

1- توليد (خلق) المجتمع الأوليّ: تقوم الـ GA بتكوين مجتمعٍ أوليٍّ (POOL) أو ( Population Space) بشكلٍ عشوائيٍّ، عبر تكوين مجموعةٍ من السلاسل تمثّل كلّ سلسلةٍ حلاً مفترضاً للشبكة. يتمّ ترميز الشبكة بأحدى أنظمة الترميز (InCodng)، ويكون عدد الحلول N، حيث (100~ 10)N كل بتّ (bit) في السلسلة يأخذ القيمة (0أو 1)عند اتّباع طريقة الترميز الثنائي، ويمثّل عنصراً معيناً من الشبكة. كلّ سلسلةٍ من N (من المجتمع الأولي) تمثّل مجموعةً من الأنابيب التي تمثّل بدورها تشكيلاً مختلفاً من أقطار الأنابيب المكوّنة للشبكة.

2- حساب كلفة الشبكة: تفترض الـ GA أنّ كلّ فردٍ (حل أو سلسلة) من المجتمع الأولي N لها قيمة، ويمكن أن تدخل في المجتمع الجديد. تقوم الـ GA بعمليّة إرجاعٍ للسلسلة الجديدة إلى ما يقابلها من أنابيب حسب الأقطار، (DeCoding) ومن ثمّ يتمّ حساب كلفة الشبكة حسب كلفة كل أنبوب يدخل في التركيبة الجديدة للشبكة. أي يتمّ حساب كلفة كلّ حلٍّ (قيمة الفرد في المجتمع N).

3- الحساب الهيدروليكي لكلّ حلٍّ (كل سلسلة) من المجتمعN : أي حساب الضاغط والغزارة في عقد الشبكة، حسب شروط ونماذج الاحتياج المطلوبة في العقد لكلّ شبكة (سلسلة) من المجتمع N. ثمّ يتمّ مقارنة الضغط الحقيقي في العقد مع الضغط الأصغري المسموح، وكلّ ضغطٍ لا يحقّق الشروط تتمّ ملاحظته.

4- حساب كلفة القيود المخالفة (غرامة المخالفة): يتمّ فرض كلفةٍ إضافيةٍ على كلّ حلٍّ لا يحقّق الشروط المطلوبة (يخالف الحدود المسموحة) للضاغط في العقد. و العقد التي تعاني من النقص الأكبر في الضاغط تؤخذ كأساسٍ في حساب الفرق، وتضرب بعامل (K) _ عامل مضاعفة الكلفة _ مثلاً ( K =5 مليون ليرة/ م)، أي أنّ خسارة كلّ (1m) ضاغطٍ تحت الحدّ المسموح يزيد من كلفة الشبكة 5 مليون ليرة سورية. ويؤخذ هذا النقص من أجل أكثر عقدةٍ في الشبكة تتعرّض لنقص الضاغط (كأنّ جميع عقد الشبكة تفقد أكبر ضاغط).

5- حساب الكلفة الإجمالية للشبكة: والتي تساوي إلى قيمة مكونات الشبكة مضافاً إليها قيمة الكلفة الناجمة عن مخالفة الحدود المسموحة للضاغط في العقد والسرعة في الأنابيب (كل شبكة هي عنصر من N).

6-حساب درجة التقييم : تؤخذ درجة تقييم السلسلة (الحل) كتابعٍ للكلفة الإجمالية لهذه الشبكة بحسب درجة التقييم (الملاءمة) لكلّ حلٍّ (سلسلة) كمقلوبٍ لكلفتها الإجمالية، وبالتالي كلّما نقصت الكلفة فإنّ درجة الملائمة أو قيمة هذا الحلّ (هذه السلسلة) ستكون كبيرةً.

7- توليد مجتمعٍ جديدٍ باستخدام معامل الاختيار (selection operator): تقوم الـ GA بإنتاج أفراد جددٍ للجيل الثاني بواسطة خطّة اختيار (احتمال اختيار السلسلة i هو pi) للمشاركة في الجيل الجديد.

8- عملية التصالب (crossover operator): عمليّة التصالب هي عمليّة تغييرٍ جزئيٍّ من السلسلة من البتّات (تزاوج) بين عائلتين (سلسلتين) لإنتاج طفلين جديدين. يحدث التصالب (التقطيع) باحتمالية تقطيعٍ Pc لكل زوج من السلاسل، للقيام بعملية تصالب في نقطةٍ واحدة. يتمّ ذلك بشكلٍ عشوائيٍّ على طول السلسلة، حيث يتم تبادل الجزأين الناتجين عن القطع في نقطةٍ معينةٍ بين السلسلتين لإنتاج سلسلتين جديدتين.

9- عملية الطفرة (mutation operator) : تحدث عملية الطفرة باحتمالٍ معينٍ Pm لكلّ بتٍّ bit من السلسلة التي شاركت في عملية التصالب. وعمليّة الطفرة هذه تغير قيمة البتّ من 0 إلى 1 في السلسلة أو العكس. ولاتحدث عملية الطفرة بمعزل عن عملية التصالب، ولكن عملية التصالب يمكن أن تتم بمعزل عن عملية الطفرة، وذلك عندما يكون عدد الحلول صغيراً، واحتماليّة الطفرة صغيرة جداً (تأخذ احتمالية حدوث الطفرة قيماً تتراوح بين 0.1 و 0.001).

10- إنتاج جيلٍ ناجحٍ: إنّ استخدام العمليات السابقة (الاختيار-التقاطع -الطفرة) سوف يؤدي لإنتاج أجيال جديدةٍ. يتمّ حساب درجة التقييم لهذه الحلول الجديدة وتصنيفها ومن ثمّ اختيار الأفضل بينها بحسب إحدى الطرق المعروفة للمشاركة بالمجتمع الجديد، كخياراتٍ لإعادة إنتاج أفراد جديدة. وهكذا يتم تكرار عملية إنتاج أجيال جديدةٍ حتى الحصول على الحلّ الأمثل. تتمّ عادةً إعادة التوليد (من الخطوة 2-9) من 100- 1000 مرة.

11- تتوقّف عملية البحث عن الحلّ الأمثل عند بلوغ العدد النهائي المطلوب من المحاولات التي تمّ تحديدها في بداية عملية GA. أو عند عدم ظهور تحسيناتٍ جديدةٍ على الحلّ خلال عددٍ

معيّنٍ من المحاولات المتتالية، والتي يتمّ أيضاً تحديدها في بداية العمل مع التقنية، أو عند انتهاء الوقت المخصص للحساب.

**مثال على تطبيق تقنية الخوارزميات الجينية في مجال شبكات المياه:**

لنفترض لدينا شبكة مياه مؤلّفة من ثمانية خطوط طول كل خط 1000 m ويوجد خزان تزويد بالمياه في العقدة رقم (1). وبقية العقد يوجد بها استهلاك q1- q2 ..... q7 . أقطار الأنابيب المتوفرة في السوق المحلية مع أسعارها معطاة بالجدول (2−3):

جدول (2−3): الأسعار المفترضة لأقطار الأنابيب المتوفرة من مادة البولي إيتلين مع الترميز بالنظام الثنائي

| Diameter mm | N0 | Cost S.P/m | Binary Coding |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0000 |
| 40 | 1 | 180 | 0001 |
| 63 | 2 | 225 | 0010 |
| 75 | 3 | 280 | 0011 |
| 90 | 4 | 400 | 0100 |
| 110 | 5 | 650 | 0101 |
| 125 | 6 | 800 | 0110 |
| 140 | 7 | 1100 | 0111 |
| 160 | 8 | 1400 | 1000 |
| 200 | 9 | 1850 | 1001 |
| 225 | 10 | 2350 | 1010 |
| 250 | 11 | 2800 | 1011 |
| 280 | 12 | 3500 | 1100 |
| 315 | 13 | 4500 | 1101 |

السلسلة هنا يجب أن تكون مؤلفة من ثمانية جينات (على عدد خطوط الشبكة). كل جين مؤلف من أربع بتّات. أي أن السلسلة التي تمثّل شبكةً سوف تكون مؤلفةً من ( 32 bets). وتمثّل حلاً للمسألة. سوف يتمّ حساب قيمة هذا الحلّ من الجدول(2−2).

لنفترض أنّ السلسلة الممثلة للشبكة والتي تمثّل الحلّ الأول هي كما في الشكل (2−12):

| الترميز | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| القطر المقابل | 315 | | | | 250 | | | | 160 | | | | 160 | | | | 125 | | | | 125 | | | | 110 | | | | 90 | | | |
| السعر s.p | 4500 | | | | 2800 | | | | 1400 | | | | 1400 | | | | 800 | | | | 650 | | | | 650 | | | | 400 | | | |

شكل(2−12):عملية الترميز للحل الأول المقترح.

وبالتالي تكون كلفة الحل المقترح هي :

$F_1$= 1000*(4500+2800+1400+1400+800+650+650+400)=12600000 S.P

الحل الثاني المقترح كما في الشكل (2−13).

وبالتالي تكون كلفة الحل الثاني المقترح:

$F_2$=1000 (450+3500+1400+1400+1400+650+400+400)=13600000S.P

وذلك دون تحميل غرامة مخالفة القيود الطرفية ( الضاغط والسرعة ) على كلفة الحل.

| الترميز | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| القطر المقابل | 315 | | | | 280 | | | | 160 | | | | 160 | | | | 160 | | | | 125 | | | | 90 | | | | 90 | | | |
| السعر S.P | 4500 | | | | 3500 | | | | 1400 | | | | 1400 | | | | 1400 | | | | 650 | | | | 400 | | | | 400 | | | |

شكل (2−13): عملية الترميز للحل الثاني المقترح.

نقوم بحساب الحلّين السابقين هيدروليكياً، لبيان مدى تحقيقهما للشروط الطرفية. فإذا افترضنا أنّه نتج لدينا أنّ الضاغط والسرعة في الحلّ الاول محقّقان، بينما السرعة في الحلّ الثاني محقّقة، أما الضاغط فإنه غير محقّق في العقدتين 5 و 6 ، وينقص عن الضاغط المسموح بمقدار 2 m في العقدة 5، وينقص بمقدار 3 m في العقدة 6. وأنّ غرامة مخالفة الضغط المسموح هي 1000000 S.P/m ، فإننا نأخذ الحالة الأسوأ وهي 3 m وتكون الغرامة هي$F_3$=1000000*3=3000000 S.P .

تضاف الى كلفة الحل الثاني فتصبح:

$F_2$=13600000+3000000=16600000 S.P

وهكذا إذا افترضنا أنّ لدينا مجتمعاً مؤلّفاً من عشرة أفراد (حلول)، وكان الحلّان السابقان هما الحلّان اللذان تمّ اختيارهما بإحدى الطرق المعروفة. وتمّ إجراء عمليّة التصالب عليهما لإنتاج جيلٍ جديدٍ. شكل (2–14).

تتمّ عملية التصالب من نقطة قطعٍ عشوائية. ويمكن أن تتمّ من نقطتين عشوائيتين أو أكثر. بعد ذلك تتمّ عملية الإرجاع (DeCoding)، لمعرفة الأقطار المقابلة، وسعر المتر الطوليّ لكلّ نوعٍ، لمعرفة كلفة كلّ حلٍّ. ثمّ يتمّ حساب كلاً من الحلّين الجديدين في الجيل الجديد، لمعرفة مدى تحقيقهما للشروط الطرفية، وإضافة غرامات التأخير على الحلّ المخالف للشروط الطرفية. ومن ثمّ تقييم الحلول الأربعة بعد حساب قيمة الملاءمة لكلّ حلٍّ، والذي يساوي إلى مقلوب الكلفة.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Parent -1** | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| **Parent-2** | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| **Child 1** | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| **Child 2** | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |

شكل (2–14): عملية التصالب لإنتاج حلّين جديدين.

.

fi = 1/Fi

وبالتالي، كلّما صغرت الكلفة كلّما كانت درجة تقييم الحل كبيرةً (درجة الملاءمة)، وبالتالي زادت احتماليّة مشاركته في إنتاج جيلٍ جديدٍ، والتي تحسب من العلاقة:

$$Pi = fi / \sum_{i=1}^{N} fi$$

ثمّ ينتقل الحلّان ذوا التقييم الأفضل إلى المجتمع الجديد للمشاركة في إنتاج أجيال جديدةٍ، بينما يتمّ استبعاد الحلين ذوي التقييم الأقلّ وفقاً لمبدأ البقاء للأفضل.

## 2-14 البرمجيات المستخدمة في الحساب:

اعتمد تنفيذ البحث على استخدام البرمجيات والتجهيزات اللازمة والبيانات المُجَدْولة، والصور الفضائية، والخرائط الطبوغرافية، والمخطط التنظيمي لمنطقة المشروع، مع تنفيذ أعمال ميدانية تتضمّن تنفيذ بعض القياسات، والرفع الطبوغرافي، وجمع المعطيات عن الشبكة ومدى مطابقتها للبيانات التي تمّ الحصول عليها من المصادر ذات الصلة، والمرتبطة بالبحث، وتسجيل الملاحظات اللازمة لعمل البرنامج. استُخدمت في الدراسة مجموعة من البرمجيات اللازمة لتحقيق الغرض المطلوب منها، وهي:

### 2-14-1 برنامج WATERGEMS

هو برنامج يستخدم في مجال شبكات المياه من أجل تصميم نماذج تحاكي نظام توزيع المياه، ومن ثم القيام بالحساب الهيدروليكي لها، وتحليل نوعية المياه، مع إمكانية خلق حيّزٍ مكانيٍّ مشابهٍ للواقع، وإجراء عملية الأمثلة، وتزويد المستخدم (المشغل) بأدوات إدارةٍ مساعدةٍ مثل حساب نظام إطفاء الحرائق، وحساب نسب تركيز الموادّ في الماء، وحساب استهلاك الطاقة، وصولاً إلى إدارة الكلفة الكليّة لهذه العملية.

يزود برنامج Watergems المهندسين المخططين و المصممين ببيئة عمل سهلة لبناء النموذج وحسابه وتحليل النتائج وإيجاد الحل الأمثل لنظام توزيع المياه حسب معادلة التابع الهدف،

يمكن لبرنامج WaterGems أن يعمل من خلال أربع بيئاتٍ مختلفة:

1. واجهة Microstation من أجل سهولة إدارة عمليات التخطيط.
2. واجهة Auto Cad من أجل الاستفادة من المخطّطات والتصاميم الهندسية.
3. واجهة ArcGIS من أجل سهولة استخدام الخرائط. من خلال Arcmap .
4. واجهة البرنامج الخاصة به Stand Alone وهي واجهة رسومية سهلة الاستخدام ومريحة.

هذه الواجهات جميعها تتشارك بمصدر البيانات نفسها. وهذا ما يجعل المهندسين يملكون الحرية في اختيار الواجهة التي يرغبون أو يملكون الخبرة الأكبر في التعامل معها. ويستطيعون بعد ذلك التعامل مع النتائج بسهولة.

إنّ استخدام برنامج Watergems من خلال برنامجِ ArcGis يسمح لمحترفي برنامج Gis باستخدام قاعدة بيانات ESRI، حيث يمكن القيام بكل الأعمال من خلقٍ وتعديلٍ وتحليلٍ وإظهار نماذج WaterGems من خلال واجهةArcmap بسهولةٍ تامةٍ لكل نموذجٍ هيدروليكيٍّ.

### 2-14-1-1 أدوات إطار العمل المكاني لبناء الموديل: Geospatial Model-Building tools

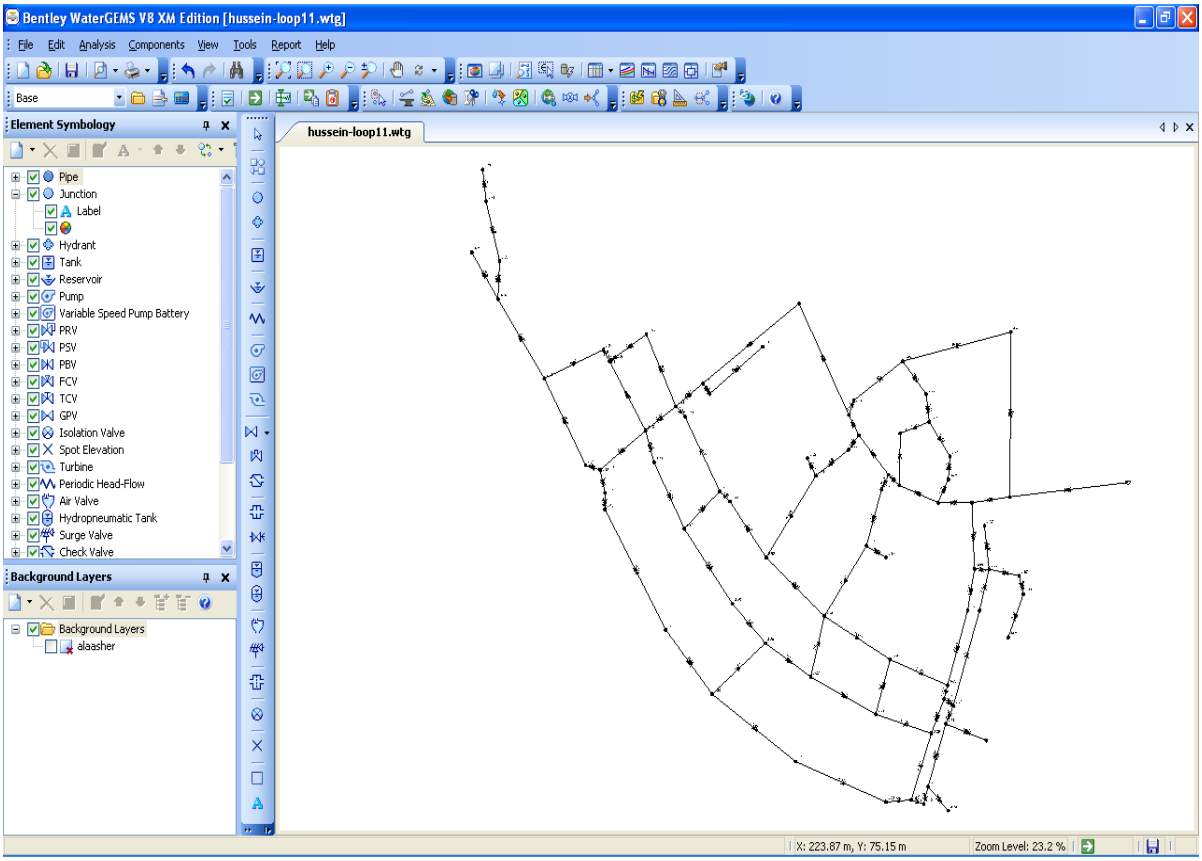
يمكن للمصممين من خلال واجهة البرنامج الرسومية رسم الشبكة الافتراضية الأولية، شكل (2-15) باستخدام أدوات الرسم التي زُوّد بها البرنامج من خلال الأدوات التي تسمح ببناء النموذج (خطوط – عقد – خزانات – سكورة – مضخات .....)، حيث يتمّ أولاً فتح واجهةٍ رسوميةٍ جديدةٍ، وحفظها بالاسم المرغوب في المجلد المطلوب. ومن ثمّ يتمّ إعداد هذا الملفّ من حيث الإحداثيات، ومقياس الرسم، وجملة الوحدات الدولية المستخدمة، وألوان الخطوط.

بعد ذلك يتمّ القيام بعملية استيرادٍ للخلفية المطلوبة (مخطط تنظيمي – خريطة...). ويتمّ رسم الشبكة المطلوبة. أو يتمّ استيراد الشبكة كملفٍ بامتداد ship file يحوي جميع المعلومات المطلوبة.

بعد ذلك وبالنقر المزدوج على أيّ عنصرٍ، يتمّ فتح جدول الخصائص له، وتعبئة البيانات المطلوبة لكلّ عقدة ( الاحتياج المطلوب ونوعه (سكني – تجاري – إطفاء حريق ..)، الارتفاع عن سطح البحر، الضاغط المطلوب حسب منطقة الضغط..)، أو أنبوب( القطر – نوع مادة الأنبوب– الطول ..) أو خزان (ارتفاع أسفل الخزان – ارتفاع أعلى منسوب للماء في الخزان – قطر الخزان ...)....وبعد ذلك يتمّ باستخدام زر compute حساب الشبكة . وإظهار نتائج الحساب من خلال زر Report .

كما يقدم برنامج WaterGems أيضا نماذج جاهزة تساعد المهندس على الفهم العميق للبرنامج وعدم الوقوع في الأخطاء عند إدخال المعلومات.

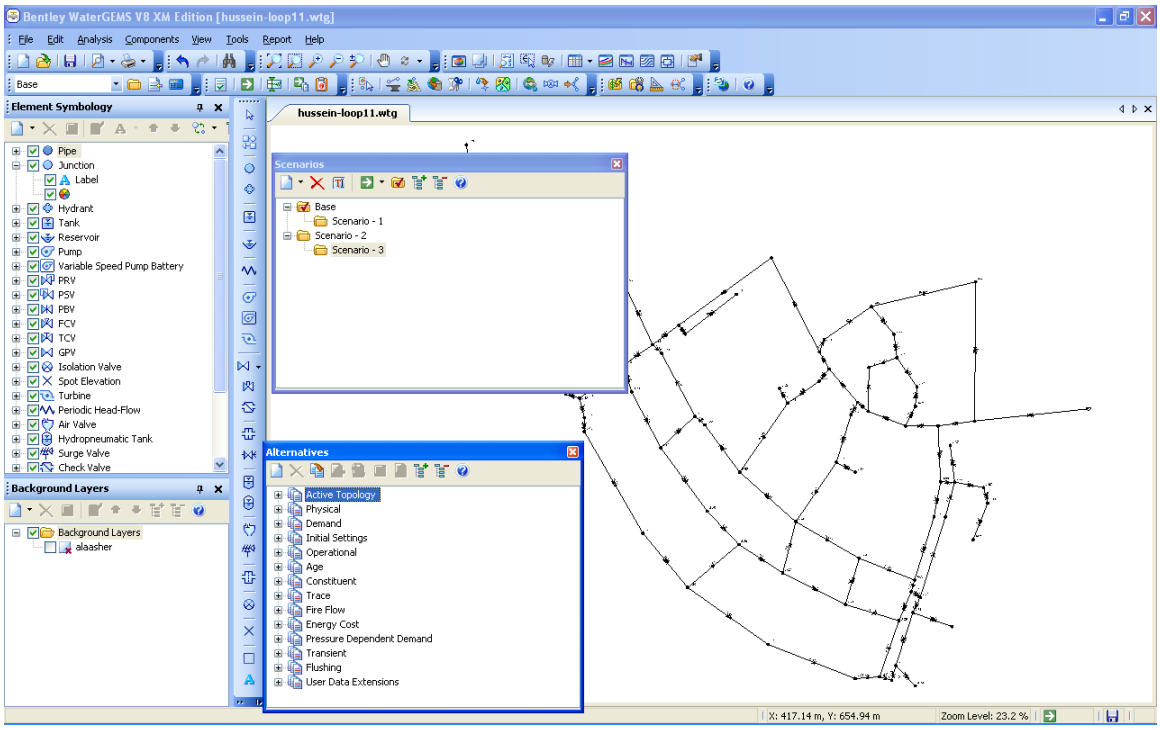
يسمح البرنامج بحساب الشبكة من أجل الاحتياج المائي الثابت في العقد Fixed Demand. أومن حيث الاحتياج المنفصل لكل نوع (سكني، تجاري، إطفاء حريق) Steady State. أو حتى بحساب الاحتياج المتغير مع الزمن لكل نوع خلال يوم كامل Extended Period Simulation.




شكل (2–15): واجهة برنامج WaterGems

يقدم البرنامج مجموعة من الخيارات alternatives من خلال إدارة السيناريو شكل (2–16). حيث يتكون السيناريو من مجموعة من الخيارات. وهذه الخيارات عبارة عن مجموعة من البيانات تساعد في حل أغلب المسائل الهيدروليكية المتعلقة بمنظومة التزود بالمياه. وأي تغيير في أيّة قيمةٍ من قيم هذه البيانات يعطينا خيارات جديدة. وأي تغيير في أحد الخيارات المكونة للسيناريو ينتج سيناريو جديد، وبالتالي حل جديد. ومن هذه الخيارات ما يتعلق بنوعية الأنابيب Physical Alternatives أو بالاحتياج المائي Demand Alternatives .....وهذه الخيارات هي:

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | Active Topology | 8 | Trace |
| 2 | Physical | 9 | Fire Flow |
| 3 | Demand | 10 | Energy Cost |
| 4 | Initial Settings | 11 | Pressure Dependant Demand |
| 5 | Operational | 12 | HAMMER |
| 6 | Age | 13 | Flushing |
| 7 | Constituent | 14 | User Data Extentions |




شكل (2–16): نافذة إدارة السيناريو والخيارات

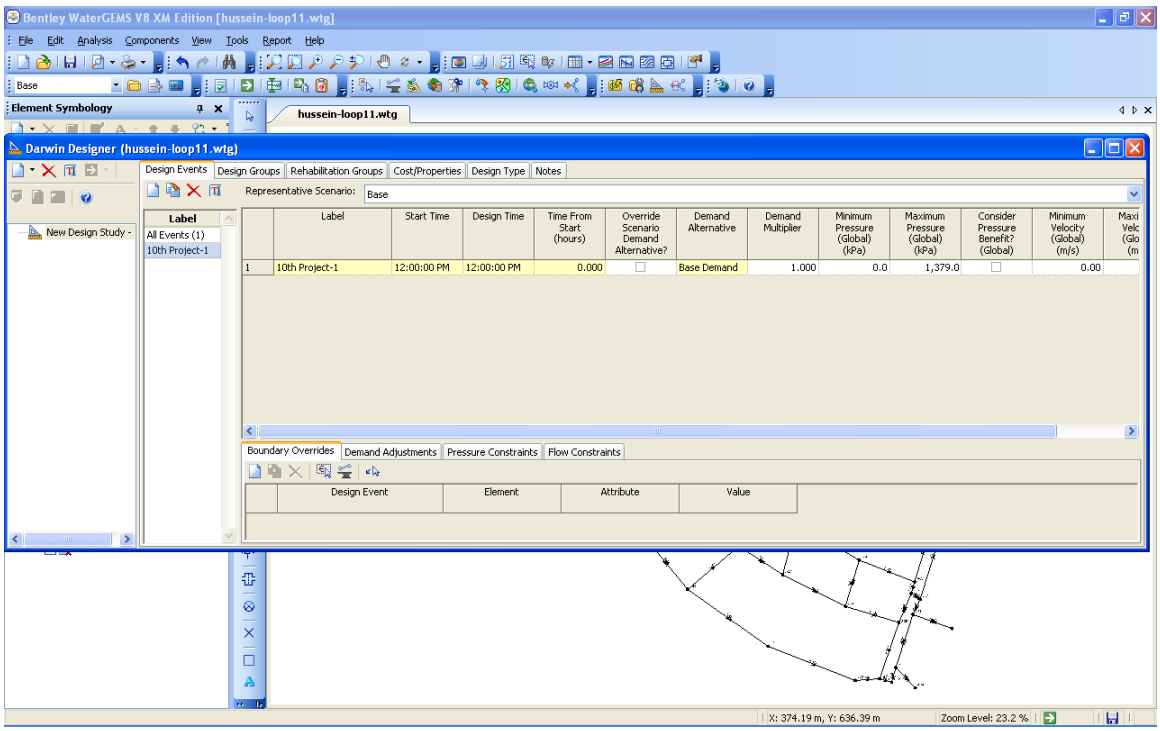
لكنّ أهمّ سمةٍ في هذا البرنامج هي دعمه لتقنية استخدام الخوارزميات الجينية لإيجاد الحلّ الأمثل، وذلك من خلال تقنية مصمّم داروين Darwin Designer. وهي التقنية التي سيتمّ استخدامها من أجل إيجاد الحلّ الأمثل لتوزيع منظومة المياه في المشروع العاشر. وفي مايلي شرح موجز لمبدأ عمل هذه التقنية.

### 2–14–1–2 مصمم داروين Darwin Designer :

يسمح لنا هذا البرنامج والمدعوم من قبل برنامج WaterGems، والذي يعدّ أحدى مكوّناته الأساسية، بإجراء تصاميم جديدةٍ لتوضّع الشبكة، من أجل حساب الشبكات الجديدة، أو إجراء الإصلاحات والاستبدالات على أجزاء من الشبكة من أجل الشبكات الحالية المنفذة والمستثمرة. واستخدام تقنية الخوارزميات الجينية هنا لتجنّب محاولة إيجاد الحلّ الأمثل عن طريق التجريب اليدوي. والحلول الناتجة والكلف المحسوبة باستعمال مصمم داروين يمكن أن تصدّر لإعادة استخدامها كسيناريو جديد.

للبدء بالعمل مع مصمّم داروين يتم فتح مربع الحوار Darwin Designer، شكل (2–17). ومن ثمّ اختيار السيناريو الذي سيتم إجراء التعديلات عليه. وبعد ذلك يتمّ فتح تصميم جديد Design

Study .(حيث لا يمكن تطبيق عملية مصمم داروين على أيّ سيناريو دون أن يكون هنالك دراسة تصميمية Design Study.لأنّ جميع البيانات المطلوبة لمصمم داروين موجودة في الدراسة التصميمية). وهو محاولة لإيجاد الحل الأمثل لتوزيع الشبكة، بعد إجراء التعديلات المرغوبة. من خلال واجهة Design Study يتمّ فتح ملفٍ جديدٍ، هو (الحدث) Design Event. وبعد تسمية الحدث الجديد، يتمّ تعديل مواصفات السيناريو الأساس بما يتوافق مع متطلّباتنا، من حيث تغيير حدود الضاغط العليا والدنيا، وحدود السرعة العليا والدنيا، والاحتياج المائيّ المطلوب بعد ضربه بعامل الاستهلاك المتوقّع في حال دراسة الاحتياج الساعي.




شكل (2–17): واجهة مصمم داروين.

وكلّ دراسةٍ تصميميةٍ تتضمن:

1– وصف الحدث الذي يعدّ كأساس للتصميم.

2- اختيار مجموعة الأنابيب التي سوف تتمّ عليها عمليات الاستبدال أو الإصلاح

3- الشروط التي يجب تحقيقها من حيث حدود الضاغط في العقد والسرعة في الأنابيب.

4- مجموعة الأنابيب المتوفّرة في السوق المحلية ومواصفاتها وأسعارها.

5- تحديد التابع الهدف ( أقل كلفةٍ – أكبر فائدةٍ ...). سيتمّ إضافة التعديلات التي يمكن القيام بها على عقد وأنابيب معينةٍ.

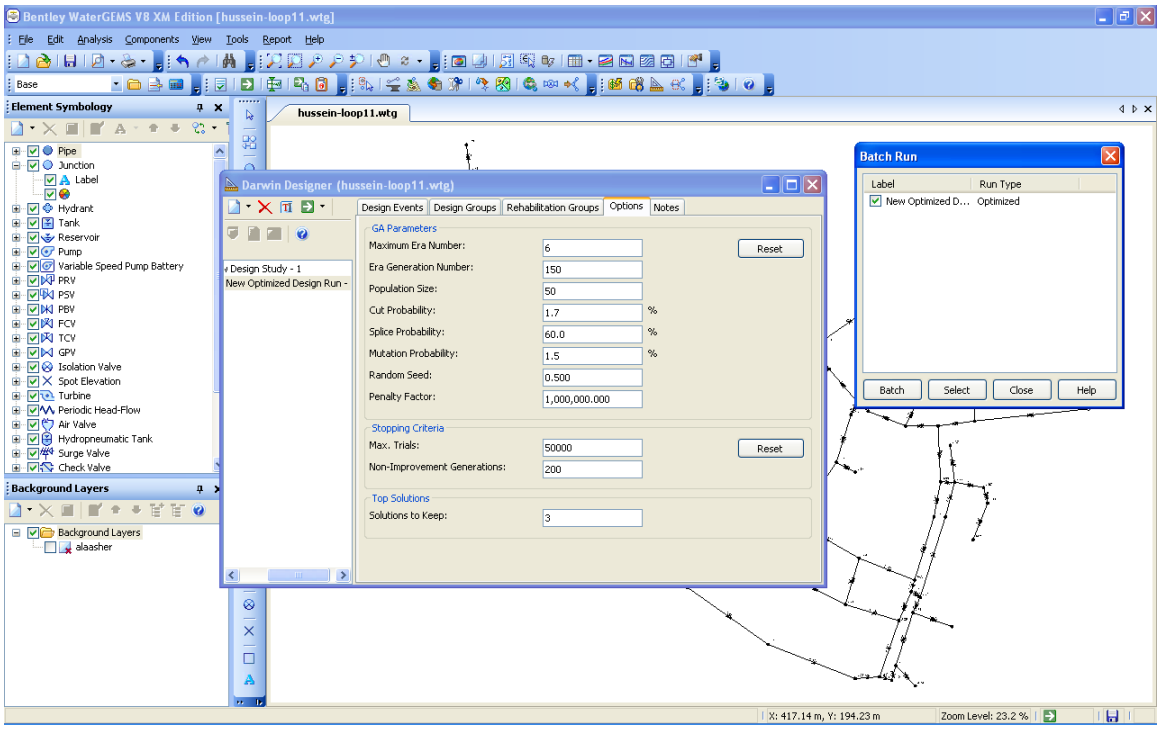
يتمّ بعد ذلك تفعيل مشغّل داروين لإيجاد الحلّ الأمثل New Optimization Design Run حيث يتمّ من خلاله :

1- تفعيل الحدث الذي سوف يشارك في عملية الأمثلة من بين مجموعة الحوادث New Event. والذي يحدّد المتطلبات والشروط الطرفية التي يجب الوصول إليها.

2- تفعيل مجموعة الأنابيب التي سوف يتمّ إجراء عملية الأمثلة عليها، وتحديد مجموعة الأنابيب التي سوف يتمّ اختيار الأقطار والكلف من خلالها.

3- تحديد بارامترات تقنية الخوارزميات الجينية GA شكل (2-18).(حجم المجتمع الأولي – نسبة التصالب – نسبة الطفرة – عدد مرات التشغيل – عدد الحلول التي يجب الاحتفاظ بها –..).

بعد ذلك يتمّ تشغيل البرنامج وفق البارامترات السابقة، ثمّ تسجيل الحلّ الأمثل حسب التابع الهدف المطلوب.

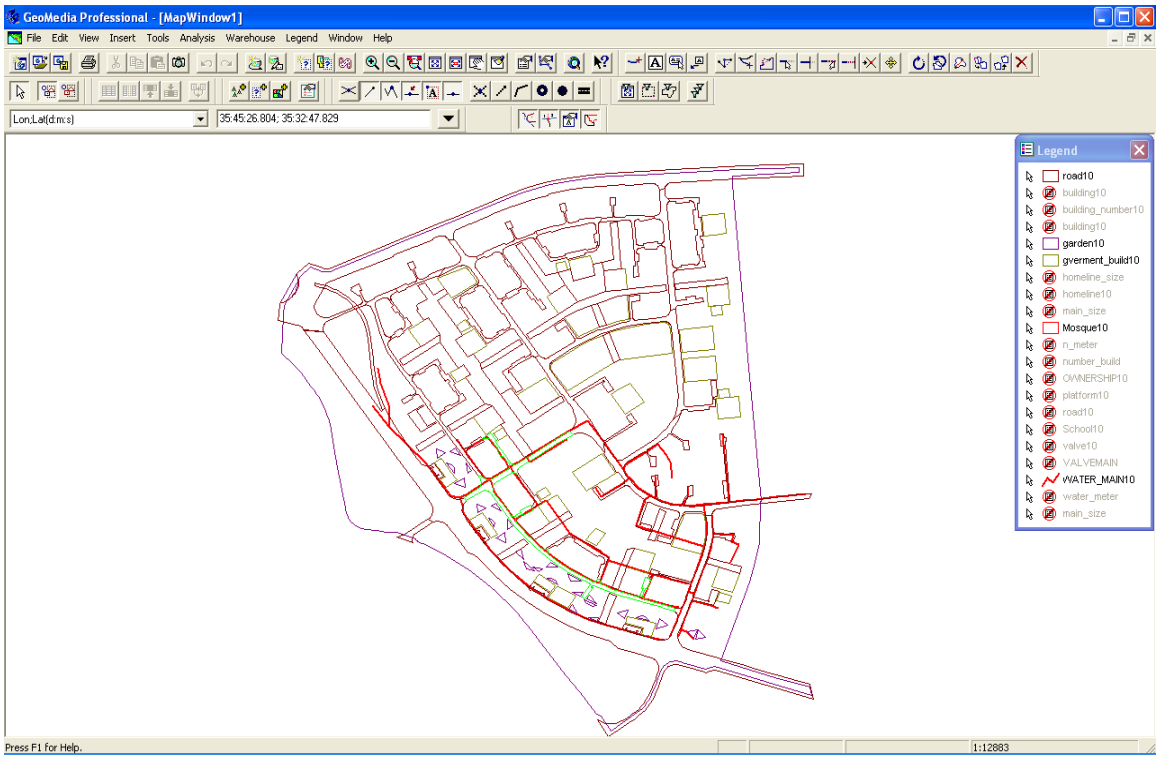



شكل (2-18): نافذة بارامترات الـ GA

## 2-14 برنامج: GeoMedia Professional

وهو برنامج نظام معلوماتٍ جغرافي، يمكن من خلال واجهته الرسومية رسم شبكات المياه، ومن خلال الأدوات الملحقة به يمكن تحديد جميع العناصر المطلوبة لعمل الشبكة (خزانات، سكورة،...). كما يمكن من خلال جدول الخصائص لهذه العناصر إدخال المعلومات الخاصّة بكل عنصرٍ ثمّ إجراء الحسابات الهيدروليكية اللازمة. وقد تمّ استخدام هذا البرنامج من قبل الشركة العامة لمياه الشرب والصرف الصحي في محافظة اللاذقية من أجل رسم شبكات مياه الشرب وإدخال البيانات الخاصّة بعناصر هذه الشبكات.

قمنا باستخدام هذا البرنامج من أجل تصدير البيانات الخاصة بشبكة مياه منطقة المشروع العاشر في اللاذقية إلى برنامج WaterGems الذي سوف نقوم بالعمل من خلاله. الشكل (2-19) يبين الواجهة الرسومية لبرنامج GeoMedia Professional.




الشكل (2–19): واجهة برنامج GeoMedia Professional

☺ ☺ ☺

# الفصل الثالث

# حالة الدراسة

# Case Study

## شبكة مياه الشرب في حيّ المشروع العاشر في اللاذقية

### 3-1 مقدمة:

من المفردات الأساسية التي يجب أن تحقّقها شبكة التزوّد بمياه الشرب مع ملحقاتها مايلي:

1- تأمين نقل المياه بالكميات المطلوبة والضاغط المطلوب.

2- يجب أن تتميز بدرجة كفاءة عالية (تزود المستهلك بالمياه من دون انقطاع).

3- يجب أن يتم التصميم الذي يحقق الشرطين السابقين بالشكل الاقتصادي الأمثل (أقلّ كلفة في الإنشاء والاستثمار).[42]

بالنسبة لشبكة مياه المشروع العاشر فهي تحقق الشرط الأول بدرجة تقييم عالية، ولكن يفتقر لتحقيق الكفاءة العالية (أي تزويد المستهلك بالمياه دون انقطاع)، وخاصّةً في حالة الأعطال الطارئة. ويعود ذلك لكون الشبكة منفّذة بشكلٍ متفرّعٍ. مما يعني أنّ عطلاً على أحد فروع الشبكة، سوف يحرم جميع المستهلكين المستفيدين من هذا الفرع لحين إجراء الصيانة المطلوبة، والتي تتعلّق في أغلب الأحيان بإمكانيّة تأمين الآليّات والموادّ المطلوبة بالوقت المناسب. وتزداد المسألة تعقيداً في حال كون الأعطال الحاصلة تمّت على الخطوط الرئيسيّة. في حين لو أنّه تمّ تنفيذ الشبكة بشكلٍ حلقي، على الرغم من كلفة الإنشاء المرتفعة مقارنةً بالشبكة المتفرّعة، لَتَمَّ تزويد المستهلكين بالمياه من فروع الشبكة الأخرى، عن طريق استثمار سكورة القطع المتوضّعة على الشبكة.

يتعلق توضّع الخطوط في الشبكة الحلقيّة بشكل المخطط التنظيمي للمنطقة المدروسة، من حيث الأراضي المبنيّة أو المعدّة للبناء، والحدائق والشوارع والممرّات والمباني الحكوميّة والمصانع. كما

يتعلق بتضاريس الأرض الطبيعيّة، والمناسيب الجديدة للطرق المخطّطة، وبالحواجز والعوائق الطبيعيّة والصناعيّة التي يمكن أن تواجه عملية تخطيط الشبكة (أنهار– جسور– سكك الحديد ...).

تتميّز الشبكة الحلقيّة في أنها تلعب دوراً مهماً في تخفيف الصدمة المائيّة، التي تنشأ في خطوط الشبكة، نتيجة الانقطاع المفاجئ للتيّار الكهربائيّ عن محطّات الضخ، أو أيّة أعطال أخرى فيها تخرجها من الخدمة، أو الاضطراب في سرعة الجريان داخل الأنبوب.[42]

يتم في الشبكة الحلقيّة إمرار المياه في الخطوط الرئيسية التي توافق حركة الكميّات الأساسيّة من المياه، وبشكل يساير قدر الإمكان التضاريس الجغرافيّة (خطوط التسوية). وبعد ذلك يتم وصل الخطوط الرئيسية بخطوط فرعيّةٍ متعامدةٍ معها، ضمن الشوارع الفرعية والممرات. ومن ثم تتم دراسة هذه الخطوط، حيث يتم اختيار الخطوط التي تحقّق أقصر الطرق لوصول المياه إلى مناطق الاستهلاك الأساسي، وحيث تعمل هذه الخطوط على توازن حمولة خطوط التوزيع الرئيسيّة.[43]

## 3–2 منطقة الدراسة:

سنقوم في بحثنا هذا تطبيق تقنية الخوارزميات الجينية على إحدى شبكات المياه المنفذة والموضوعة في الخدمة، والتي تعاني من خللٍ في توزيع المياه. وتبيان قدرة هذه التقنية على حلّ مسألة الخلل هذه. اخترنا شبكة (حيّ المشروع العاشر)، الواقعة في المنطقة الشمالية الغربية من محافظة اللاذقية، شكل (3–1)[40]، لتطبيق تقنية الـ GAs. وهي عبارة عن مشروعٍ سكنيٍّ حديثٍ، يمتدّ على مساحة (2.8) كم2. وتتألف من أبنيةٍ مختلفة الارتفاعات، يتراوح ارتفاعها بين 10م و30 م، ويتراوح ارتفاع المنطقة عن سطح البحر بين 4م و 10م. وتتغذّى بواسطة أنبوبٍ رئيسيٍّ بقطر 300 مم من مادّة الفونت، من الخزّان الرئيسيّ في موقع بسنادا، على ارتفاع 72م عن سطح البحر، يخترق هذا الخط منطقة المشروع من الجنوب الشرقيّ باتّجاه الشمال الغربي. ويتفرّع عنه 13 خط فرعي، بأقطار تتراوح بين 80 و150 مم. وبطولٍ إجماليٍ أكثر من8000 م.ط. تتوزّع الشبكة بشكلٍ شجريٍ شكل(3–2).[40]، وهي عملياً شبكة غير مرغوبٍ فيها في مجال مياه الشرب، (على الرغم من سهولة الدراسة، واختيار الحلّ الأمثل، لقلّة عدد القيود الطرفية)، لأن هذه الطريقة في التوزيع تؤدّي لانقطاع المياه عن منطقةٍ كبيرةٍ في حال حدوث عطلٍ في جزء ما من الشبكة، وخاصّةً في الخطّ الرئيسي. أكثر من نصف مساحة المشروع غير منفّذةٍ. وأكثر من نصف المساحة المنفّذة غير مشغولةٍ بالسكّان حتّى تاريخه[44]. وبمنسوبٍ طبوغرافيٍّ لا يتجاوز ستّة أمتارٍ في حدّه الأقصى بين

مختلف نقاط الشبكة. وعند التدقيق في الوضع الراهن للشبكة، ومن خلال المراقبة والاستقصاء للوضع المائي في منطقة المشروع، قمنا بتسجيل الملاحظات التالية:

1. وجود سكورة قطع موضوعة بشكلٍ عشوائي على الشبكة، بشكل ترفع غزارة المياه في نقاط معيّنةٍ عند إغلاق هذه السكورة.
2. إضافة خطوط جديدةٍ غير مرسومةٍ على مخطّط الشبكة، ومن دون قاعدة بيانات.
3. وجود محاضر سكنيةٍ قيد الإنشاء، مع عدم وجود عدّاداتٍ للمياه.
4. تغير خطوط ملغاةٍ، لكنها لم تلغ عن المخطّط.
5. وجود شقق سكنيّةٍ مسكونة وغير مسكونة من دون عدّادات للمياه.
6. وجود عددٍ كبيرٍ من الشقق الشاغرة (أكثر من 50%). والتي سيتمّ إشغالها تباعاً، وبالتالي سيصبح لدينا احتياج مائي إضافي.
7. وجود مناطق لا تنقطع عنها المياه وبضاغطٍ جيّدٍ.
8. تصل المياه إلى جميع الأبنية وجميع الطوابق، بما فيها الأبنية العالية ليلاً ونهاراً ماعدا ساعات الذروة، حيث لا تصل المياه إلى الطوابق العليا إلا بواسطة مضخّاتٍ صغيرةٍ خاصّةٍ لكل مشترك. وخاصةً في أشهر أب وأيلول وتشرين الأول.
9. وجود مناطق ماتزال عرصاتٍ معدّةٍ للبناء، وهي تحتاج تباعاً لكميّات مياهٍ متزايدةٍ للبناء والإكساء، ومن ثمّ احتياج مائي للاستهلاك.

يبدو للوهلة الأولى عدم وجود أيّة مشاكل في توزيع المياه. ولكنّ هذا الوضع يبقى وهميّاً للأسباب آنفة الذكر. وهذا بدوره يقدّم التساؤلات التالية:

1. ماالذي سيؤول إليه هذا الرخاء المائي الوهمي بعد استكمال بناء منطقة المشروع (أبنية سكنية، شوارع، حدائق...)؟
2. ماهو وضع الشبكة المنفّذة حالياً وقد مضى على تنفيذها أكثر من 25 عاماً ولم تستثمر بأكثر من 25% من طاقتها الفعلية؟
3. كيف يمكن ضمان استمرارية وصول المياه إلى المستهلك دون انقطاع حتّى بحال حدوث أعطال أو إجراء الصيانات لفتراتٍ طويلةٍ؟


الشكل (3-1): المخطط العام لحيّ المشروع العاشر في اللاذقية.

وعليه فقد قمنا بتحديد مسار بحثنا، والذي يتضمن:

1- مقارنة كلفة الشبكة بوضع التنفيذ الموجود حالياً بعد حسابها على الوضع الحاليّ، مع كلفة تعديل الشبكة إلى الوضع الحلقي.

2- البحث عن الحل الأمثل للتعديل المطلوب (الكلفة الدنيا لعملية التحويل)، والذي يحقق التابع الهدف (تأمين الغزارة والضاغط المطلوبين في كل عقدة). مع الأخذ بالحسبان القيود الطرفية (حدود الضاغط في العقد والسرعة المسموحة في الأنبوب)، القيود الضمنية (مجموع الغزارات الداخلة إلى كل عقدة يساوي مجموع الغزارات الخارجة، مضافاً إليها الغزارة

المستهلكة في العقدة، ومجموع الضياعات في كل حلقة يساوي الصفر). وذلك من خلال تطبيق تقنية الخوارزميات الجينية (GAs).

## 3-3 الخطوات المتّبعة لتنفيذ مسار البحث:

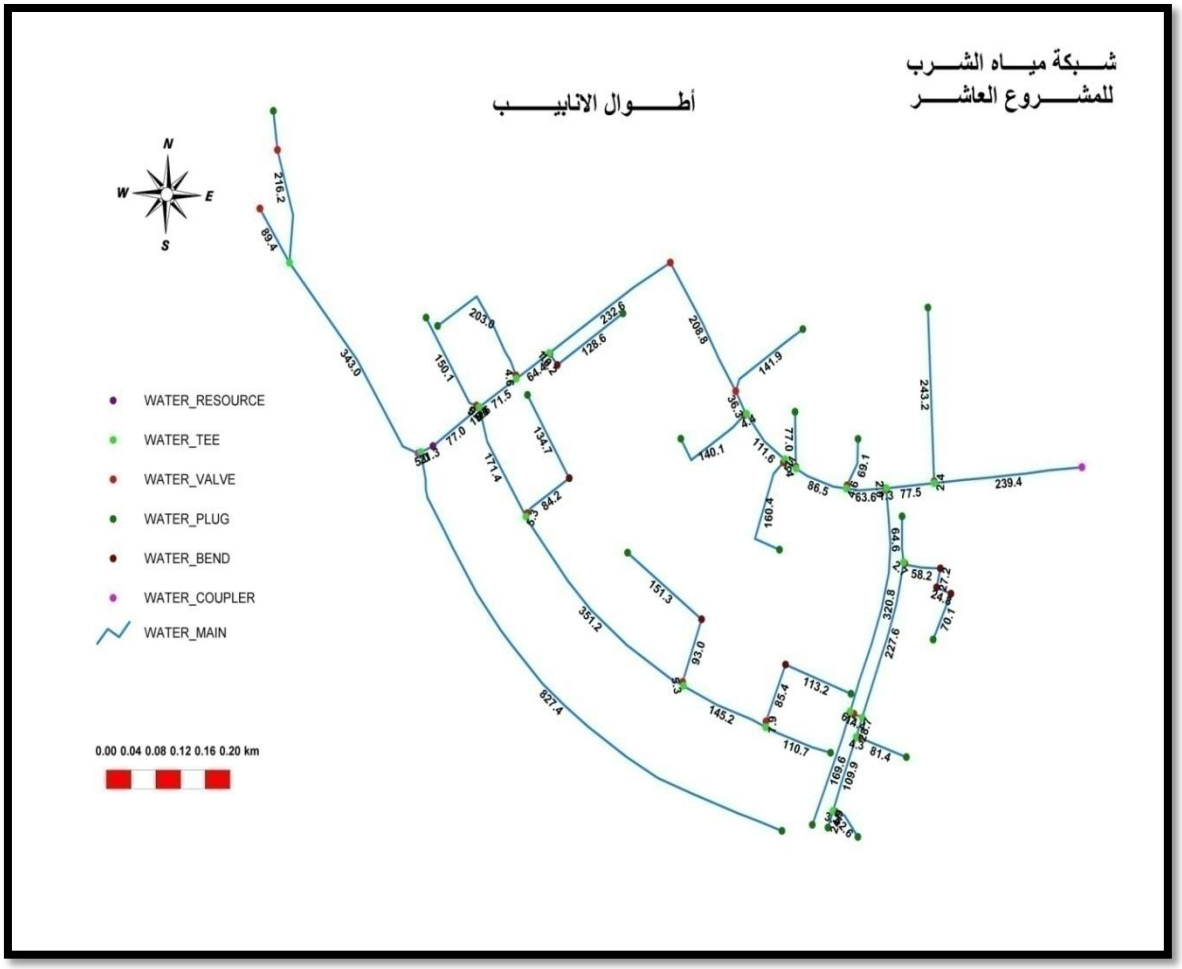
تمّ وضع تصوّرٍ عامٍّ للشبكة بشكلٍ حلقي، حيث قمنا بوصل العقد السائبة مع الخط الرئيس، أو مع بعضها. وتبيّن عند محاولة القيام بعمليّة الربط الحلقيّ، وجود عوائق تتعلّق بـ:(حقوق الارتفاق ونظام ضابطة البناء. حقوق حماية الطريق، وما يترتّب على ذلك من إمكانية إعادة تنفيذ خطوط جديدةٍ. لم تلاحظ مشاكل طبوغرافية). تمّ أخذها جميعاً بالحسبان من أجل إعادة دراسة الشبكة على هذا الأساس، بعد تحديد القيود الابتدائية، وتحديد القيود الطرفية المطلوبة في كلّ عقدةٍ، بالإضافة إلى القيود الضمنية المطلوبة.

### 3-3-1 حساب القيود الطرفية المطلوبة:

#### 3-3-1-1 حساب الغزارات المطلوبة في العقد:

قمنا بإعادة حساب الغزارات في العقد بطريقة مختلفة وعملية وأكثر دقة على أرض الواقع، حيث تمّ بالاعتماد على المخطط التنظيمي لمنطقة المشروع، وصور Google Earth، وعلى الزيارات الميدانية المتكرّرة، وعلى المخطط الحاليّ للشبكة، اتّباع الخطوات الآتية:

1. تحديد نقطة التغذية من الشبكة لكلّ بناءٍ سكنيٍّ أو تجاريٍّ أو حكوميٍّ.
2. تحديد عدد الطوابق وبالتالي عدد الشقق في كلّ بناءٍ سكنيٍّ. بعد ذلك قمنا باعتبار عدد المستهلكين القاطنين في كلّ شقةٍ خمسة أشخاصٍ بشكلٍ وسطيٍّ وتمّ تحديد الاستهلاك الوسطي للفرد في أبنية الشريحة الأولى (250ل/فرد/يوم )، ولأبنية الشريحة الثانية (300/ل /فرد/يوم )، ولأبنية الشريحة الثالثة (350/فرد/يوم )،[42] (شريحة البناء حسب درجته ) جدول (3-1)، ثمّ جمعنا هذه الاحتياجات، واعتبرت كغزارةٍ نقطيةٍ في نقطة التغذية للبناء من الشبكة. وبالتالي قمنا بحساب الغزارة المستجرة على طول الفرع تبعاً لنقاط التغذية المتوضّعة عليه.




الشكل (3–2): المخطط المتفرع الحالي لشبكة مياه حي المشروع العاشر.

1. قمنا بحساب الغزارات اللازمة لريّ الحدائق وغسل الشوارع كنسبةٍ من الاحتياج المائي المنزلي، حسب الجدول (3–1). لعدم وجود بياناتٍ تبيّن المساحات الخضراء والشوارع. وقد أخذت هذه الغزارة (30 ل/فرد/يوم). وقد تمّ إضافتها إلى الاستهلاك الوسطي للفرد.
2. قمنا بحساب الغزارة في العقد كنصف مجموع الغزارات المستجرة في كل الفروع المتصلة بالعقدة المدروسة.[39] الجدول (3–2).
3. قمنا بتحديد الغزارات المميزة في العقد (في حالة الدراسة هذه لا توجد مصانع في المنطقة، وبالتالي فإن الغزارات المميزة هي فقط غزارة فوهات الحريق، والغزارة المطلوبة من أجل التوسع المستقبلي وباتجاه منطقة التوسع (اعتبرت الغزارة المطلوبة لإطفاء الحريق هي نفسها المطلوبة لمنطقة التوسع)، حيث تم إضافة هذه الغزارات إلى العقد المجاورة لمنطقة التوسع.

حيث قمنا بإضافة غزارةٍ تعادل 3700 ل/دقيقة إلى الاحتياج المائي المطلوب في العقدتين J-9 و J-10 المجاورتين لمنطقة التوسع. جدول (3-3).وذلك ضمن سيناريو منفصل.سيتمّ شرحه بالتفصيل في الفصل الرابع.

جدول(3-1): يبين الاحتياج المائي المعاشي وري الحدائق في اليوم.

| درجة وسائل الراحة في أبنية المناطق السكنية | معدل الاستهلاك اليومي الوسطي ل/فرد | الاستهلاك لري الحدائق وغسل الشوارع ل/فرد |
|---|---|---|
| **I** | **125~ 160** | **30 ~90** |
| **II** | **160 ~230** | |
| **III** | **230~ 350** | |

4. اعتبرنا الغزارات المطلوبة في العقد هي غزارات ثابتة على مدار اليوم، أي إنّ نموذج الطلب على المياه ثابتاً Pattern(Demand)= Fixed. أي لم يتمّ إدخال معامل التقلّبات الساعية في الحلّ الهيدروليكي. لعدم وجود بياناتٍ حقيقيةٍ وواقعيةٍ تفيد في حساب معامل التقلبات الساعية. العقد الجديدة. J-66, J-67, J-68 هي عقد جديدة نتيجة التوضع الحلقي ولايوجد فيها احتياج مائي.

الجدول (3-2): جدول يبين خصائص العقد في الشبكة.

| Junction No | Elevation (m) | Demand (L/min) | Junction No | Elevation (m) | Demand (L/min) | Junction No | Elevation (m) | Demand (L/min) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

| Junction No | Elevation (m) | Demand (L/min) | Junction No | Elevation (m) | Demand (L/min) | Junction No | Elevation (m) | Demand (L/min) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| J-2 | 8 | 90.5 | J-25 | 8 | 58 | J-47 | 7 | 74.5 |
| J-3 | 8 | 24.3 | J-26 | 6 | 93 | J-48 | 7 | 21 |
| J-4 | 7 | 15 | J-27 | 6 | 87 | J-49 | 8 | 107 |
| J-5 | 7 | 9.7 | J-28 | 5 | 47 | J-50 | 8 | 24.7 |
| J-6 | 7 | 72 | J-29 | 6 | 22 | J-51 | 8 | 19.4 |
| J-7 | 7 | 71 | J-30 | 8 | 120 | J-52 | 8 | 30 |
| J-8 | 7 | 84.5 | J-31 | 8 | 211 | J-53 | 8 | 72 |
| J-9 | 7 | 77 | J-32 | 8 | 115 | J-54 | 8 | 24.5 |
| J-10 | 7 | 93.3 | J-33 | 5 | 94 | J-55 | 7 | 80.5 |
| J-11 | 7 | 119 | J-34 | 8 | 73 | J-56 | 6 | 40.5 |
| J-12 | 6 | 93 | J-35 | 6 | 56 | J-57 | 5 | 55.5 |
| J-13 | 5 | 385 | J-36 | 5 | 65 | J-58 | 5 | 36 |
| J-14 | 7 | 21 | J-37 | 5 | 50 | J-59 | 5 | 19 |
| J-15 | 6 | 60.7 | J-38 | 5 | 21 | J-60 | 5 | 17.5 |
| J-16 | 5 | 257 | J-39 | 4 | 20 | J-61 | 7 | 24 |
| J-17 | 6 | 24 | J-40 | 4 | 21 | J-62 | 7 | 60.5 |
| J-18 | 5 | 42 | J-41 | 5 | 20 | J-63 | 6 | 26 |
| J-19 | 5 | 42 | J-42 | 5 | 73 | J-64 | 7 | 29 |
| J-20 | 6 | 73 | J-43 | 6 | 101.5 | J-65 | 7 | 10 |
| J-21 | 5 | 42 | J-44 | 6 | 110 | J-66 | 6 | 0 |
| J-22 | 6 | 42 | J-45 | 8 | 95 | J-67 | 5 | 0 |
| J-23 | 6 | 91 | J-46 | 9 | 62 | J-68 | 6 | 0 |
| J-24 | 7 | 111 | | | | | | |

جدول (3-3):الاحتياج المائي الإضافي لمنطقة التوسع

| العقدة | الاحتياج الاضافي ل/د |
|---|---|
| **J-9** | **3000** |
| **J-10** | **700** |

### 3-3-1-2 حساب الضّاغط الأصغريّ المطلوب في العقد:

قمنا بحساب الضاغط الأصغري المطلوب توفّره في العقد اعتماداً على المعادلة التالية:

$Hn = ( hc + hd + he)$

حيث: الضاغط الأصغري المطلوب توفره في العقدة n.

$h_b$: منسوب أعلى عقدة في الشبكة. $h_b = 9$ m.

$h_c$: الارتفاع الأعظمي للبناء في منطقة المشروع. $h_c = 30$m

$h_d$: الضاغط الأصغري المطلوب لعمل الأجهزة المنزلية بشكل جيد. $h_d = 10 \sim 15$ m

$h_e$: الضياعات في خطوط الشبكة بين نقطة التغذية وعقدة الاستهلاك. $h_e = 2$m

مع الأخذ بالحسبان توضّع الأبنية العالية، ومنسوب الأرض الطبيعية، وموقع عقد التغذية، ونوعية الأجهزة المستخدمة في الأبنية العالية ( جميع الأبنية العالية سكن شعبي). تمّ أخذ الضاغط الأصغري المطلوب في العقد مساوياً لـ $Hn = 47$m .وبالتالي تكون الضياعات المسموحة بعد إدخال منسوب خزان التغذية في الحساب:

. $H = h_a + (h_b + hc + hd + he)$

$h_a$: منسوب أخفض مستوىً للماء في خزان التغذية. $h_a = 72$m.

$h_b$: منسوب أعلى عقدة في الشبكة. $h_b = 9$m .

فتصبح الضياعات المسموحة: $H = 16$ m.

### 3-3-1-3 حدود السرعة المسموحة:

تختلف حدود السرعة المسموحة في الأنابيب تبعاً للقطر. وهذه السرعة لاينصح بتجاوزها والدخول في مرحلة الجريان المضطرب. والجدول (3-4) يبيّن حدود السرعات تبعاً لقطر الأنبوب[42]:

جدول(3-4):حدود السرعة المسموحة في الأنابيب تبعا للقطر

| حدود الأقطار بالمم | حدود السرعة م/ ثا |
|---|---|
| **200 – 300** | **0.6 ~ 1** |
| **350 – 600** | **1 ~ 1.3** |
| **650 فما فوق** | **1.3 ~ 2** |

### 3-3-1-4 حساب كلفة المتر الطولي للأنابيب المستخدمة:

بما أنّ الكلفة الأساسية للتعديل تكمن في سعر المتر الطولي للأنابيب المستخدمة المتوفرة في السوق المحلية، فقد قمنا بتحديد كلفة المتر الطولي على أساس الحفر والتغليف بطبقةٍ من الرمل وتركيب الخط وإعادة الردم ثمّ إعادة طبقات الرصف والتعبيد وبلاط الأرصفة. مع تحميل كلفة الإكسسوارات على كلفة المتر الطولي. وتمّ تنظيم جدول بذلك. والجد1ول (3-5)(3-6) تبيّن الأنابيب المتوفرة في السوق المحلية وكلفة تنفيذ المتر الطولي لكل قطر[41]. ثمّ بعد ذلك قمنا بإدخال خصائص الأنابيب المكوّنة للشبكة حسب الجدول(3-7).حيث اعتبرنا قطر الأنبوب الواصل بين خزان التغذية وبداية منطقة المشروع مساوياً لـ 1000 مم، وطوله مساوياً لـ 1 م.ط. حتى لاندخل الضياعات التي سوف تحدث في خط النقل والذي يقارب طوله 2 كم في عملية الحساب، لكننا أخذنا بالحسبان هذه الضياعات عند حسابالضاغط المطلوب توفره في العقد. ولكون الشبكة منفّذة منذ أكثر من 15 عاماً فقد أخذت قيمة معامل هازان وليامز مساوية لـ (C=110).بينم أخذت مساوية لـ (C=130)بالنسبة للأنابيب الجديدة.

جدول (3-5): أسعار الأنابيب من مادة البولي إيتيلين حسب القطر منفّذاً وجاهزاً للاستثمار

| القطر مم | سعر المتر الطولي من مادة الأنبوب | حفريات متنوعة مع قص زفت وخلع بلاط أرصفة وترحيل الفائض ووضع شريط دلالةوتنظيف الموقع | نقل وتركيب وتجريب ووصل مع خطوط قديمة | تغليف بطبقة رملية بسماكة لاتقل عن 10سم | أجور تركيب أكسسوارات وتنفيذ حفر تفتيش للسكورة وأغطية | أجور إعادة تعبيد ودحي حجر فولي وحجر مكسر ومجبول زفتي سماكة 7 سم | السعر الإجمالي بالليرة السورية |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ل.س | م.ط | م.ط | م.ط | م.ط | م.ط | ل.س |
| 63 | 155 | 105 | 50 | 75 | 60 | 230 | 675 |
| 75 | 180 | 105 | 65 | 83 | 60 | 230 | 723 |
| 90 | 250 | 120 | 75 | 87 | 60 | 230 | 822 |
| 110 | 330 | 120 | 85 | 93 | 60 | 255 | 943 |
| 160 | 715 | 130 | 120 | 135 | 60 | 255 | 1415 |
| 225 | 1350 | 130 | 180 | 160 | 60 | 255 | 2135 |

جدول(3-6) بأسعار المتر الطولي من أنابيب الفونت Cast iron منفّذاً وجاهزاًللاستثمار.

| القطر مم | سعر المتر الطولي من مادة الأنبوب | حفريات متنوعة مع قص زفت وخلع بلاط أرصفة وترحيل الفائض ووضع شريط دلالة وتنظيف الموقع | نقل وتركيب وتجريب ووصل مع خطوط قديمة | تغليف بطبقة رملية بسماكة لاتقل عن 10سم | أجور تركيب اأكسسوارات وتنفيذ حفر تفتيش للسكورة وأغطية | أجور إعادة تعبيد ودحي حجر فولي وحجر مكسر ومجبول زفتي سماكة 7 سم | السعر الإجمالي بالمتر الطولي |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ل.س | م.ط | م.ط | م.ط | م.ط | م.ط | ل.س |
| 80 | 1200 | 130 | 75 | 75 | 60 | 230 | 1770 |
| 100 | 1500 | 130 | 100 | _ | 60 | 230 | 2020 |
| 125 | 2100 | 190 | 125 | _ | 60 | 415 | 2890 |
| 150 | 2400 | 225 | 150 | _ | 60 | 415 | 3250 |
| 200 | 3300 | 330 | 200 | _ | 60 | 475 | 4365 |
| 250 | 4200 | 330 | 300 | _ | 60 | 475 | 5365 |
| 300 | 5400 | 380 | 350 | _ | 60 | 475 | 6600 |

جدول رقم (3-7):خصائص الأنابيب المكونة للشبكة

| Label | Start Node | Stop Node | Diameter (mm) | Length (m) | Label | Start Node | Stop Node | Diameter (mm) | Length (m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| P-1 | R-1 | J-2 | 300 | 1 | P-39 | J-13 | J-37 | 125 | 200 |
| P-2 | J-2 | J-3 | 300 | 94.7 | P-40 | J-37 | J-38 | 125 | 176 |
| P-3 | J-3 | J-4 | 300 | 77.8 | P-41 | J-38 | J-39 | 80 | 63.5 |
| P-4 | J-4 | J-5 | 300 | 104.1 | P-42 | J-39 | J-40 | 80 | 159 |
| P-5 | J-5 | J-6 | 300 | 20 | P-43 | J-38 | J-41 | 125 | 93.6 |
| P-6 | J-6 | J-7 | 300 | 106 | P-45 | J-11 | J-43 | 100 | 145.6 |
| P-7 | J-7 | J-8 | 300 | 38.6 | P-46 | J-43 | J-44 | 100 | 78 |
| P-8 | J-8 | J-9 | 300 | 223.5 | P-47 | J-10 | J-45 | 80 | 21 |
| P-9 | J-9 | J-10 | 300 | 269.1 | P-48 | J-45 | J-46 | 80 | 161.5 |
| P-10 | J-10 | J-11 | 300 | 74.3 | P-49 | J-7 | J-47 | 100 | 120.4 |
| P-11 | J-11 | J-12 | 300 | 82.6 | P-50 | J-47 | J-48 | 100 | 37.4 |
| P-12 | J-12 | J-13 | 300 | 113.5 | P-51 | J-8 | J-49 | 150 | 161.1 |
| P-13 | J-3 | J-14 | 300 | 181.1 | P-52 | J-49 | J-50 | 80 | 137.1 |
| P-16 | J-17 | J-15 | 125 | 25.5 | P-53 | J-5 | J-51 | 80 | 77.2 |
| P-17 | J-13 | J-18 | 125 | 77.8 | P-54 | J-4 | J-52 | 80 | 71 |
| P-18 | J-18 | J-19 | 125 | 277.3 | P-55 | J-6 | J-53 | 100 | 142.2 |
| P-19 | J-19 | J-20 | 125 | 166.5 | P-56 | J-53 | J-54 | 100 | 46.9 |
| P-20 | J-20 | J-21 | 125 | 232.8 | P-58 | J-2 | J-55 | 150 | 243.9 |
| P-21 | J-21 | J-22 | 125 | 220.8 | P-59 | J-17 | J-56 | 150 | 29.4 |
| P-22 | J-12 | J-23 | 150 | 55.5 | P-60 | J-56 | J-57 | 150 | 112.6 |
| P-23 | J-23 | J-24 | 150 | 126 | P-61 | J-57 | J-58 | 150 | 25.5 |
| P-24 | J-24 | J-25 | 150 | 177 | P-62 | J-57 | J-59 | 80 | 59.3 |
| P-25 | J-25 | J-26 | 150 | 103.5 | P-63 | J-56 | J-60 | 100 | 98.2 |
| P-26 | J-26 | J-27 | 150 | 118 | P-64 | J-17 | J-61 | 150 | 162 |
| P-27 | J-27 | J-28 | 150 | 173.8 | P-65 | J-61 | J-62 | 150 | 70 |

| Label | Start Node | Stop Node | Diameter (mm) | Length (m) | Label | Start Node | Stop Node | Diameter (mm) | Length (m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| P-28 | J-28 | J-29 | 150 | 133.6 | P-66 | J-62 | J-63 | 150 | 64.8 |
| P-30 | J-30 | J-31 | 80 | 148.4 | P-67 | J-62 | J-64 | 100 | 71 |
| P-31 | J-24 | J-31 | 80 | 99.2 | P-68 | J-64 | J-65 | 100 | 130.1 |
| P-33 | J-32 | J-33 | 80 | 158.4 | P-71 | J-15 | J-66 | 300 | 67.26 |
| P-34 | J-33 | J-34 | 80 | 164.7 | P-72 | J-66 | J-16 | 300 | 107.14 |
| P-35 | J-34 | J-35 | 100 | 173.8 | P-74 | J-14 | J-67 | 300 | 123.42 |
| P-36 | J-35 | J-36 | 100 | 141.2 | P-75 | J-67 | J-15 | 300 | 20.88 |
| P-37 | J-28 | J-35 | 100 | 88 | P-82 | J-12 | J-68 | 100 | 139.75 |
| P-38 | J-27 | J-34 | 80 | 84 | P-83 | J-68 | J-42 | 100 | 48.25 |

عند القيام بوصل الخطوط السائبة للتحول إلى الوضع الحلقي تعذّر وصل بعض الخطوط إلى عقدٍ موجودة، بسبب حقوق الإرتفاق وتعارضها مع الملكيات الخاصة. لذا قمنا بإحداث عقدٍ جديدة، ليتم الوصل إليها، وهذا أدّى لتقسيم الخطوط التي أنشئت عليها هذه العقد. وأخذت هذه الخطوط أرقاما جديدة، وألغيت الخطوط القديمة تلقائياّ.كما زاد عدد العقد من 65 إلى 68 عقدة. ولكنّ هذه العقد المضافة هي عقد وصلٍ بدون احتياجٍ مائي.وزاد عدد خطوط الشبكة من 82 إلى 85 خط.

## 3-3-2 معادلة التابع الهدف : OPJECTIVE FUNCTION

كما ذكرنا سابقاً، فإنّ الهدف من الدراسة هو الوصول إلى توزيع المياه بشكلٍ أمثل، يحقّق الضاغط والغزارة المطلوبين في كلّ عقدةٍ، بأقلّ تكلفةٍ ممكنةٍ لتعديل الشبكة. وبناءً عليه تمّ تحديد تابع الهدف بالوصول إلى الكلفة الأصغريّة لتحديث الشبكة كمايلي:

$$Minimize\, C_o = \sum_{i=1}^{i=n} C_i L_i$$

حيث:

$C_i$: كلفة المتر الطولي .

$L_i$: طول الخط من القطر نفسه.

n: عدد الفروع في الشبكة .

مع الأخذ بالحسبان شروط توازن الشبكة:

$$\sum_{i\in in(k)} q_{i(in)} - \sum_{i\in out(k)} q_{i(out)} = Q_k$$

$$\sum_{i\in l} h_{f_i} = 0$$

$$q_i = k * ch_i * d_i^{\alpha} \left( h_{fi} / l_i \right)^{\beta}$$

حيث:

$d_i$: قطر الأنبوب.

$Ch_i$ : معامل هازان وليام.

$q_i$ : الغزارة في الأنبوب $l_i$.

$Q_k$ : الاحتياج في العقدة k.

$H_{fi}$ : الضياع في الأنبوب i.

شروط الضاغط والسرعة في الأنابيب :

$$H_{\min} \le H_i \le H_{\max}$$

$$V_{\min} \le V_i \le V_{\max} \text{`}$$

حيث : i= 1…….n  k= 1…….j

شرط قطر الأنبوب المتوفر:

$\mathbf{d_i \in d}$

وبذلك تصبح معادلة التابع الهدف على الشكل التالي:

$$Min \quad C_p = \sum_{i=1}^{n} c_i L_i + \alpha_p \left\{ \sum_{i=1}^{n} \left( V_i / V_{\min} - 1 \right)^2 + \sum_{i=1}^{n} \left( V_i / V_{\max} - 1 \right)^2 + \sum_{k=1}^{j} \left( H_k / H_{\min} - 1 \right)^2 + \sum_{k=1}^{j} \left( H_k / H_{\max} - 1 \right)^2 \right\}$$

αp: بارامترٍ يكون كبيراً عندما يكون هنالك تذبذب في الشبكة من حيث السرعة والضاغط ويكون صفراً خلاف ذلك.

أي أنّه تمّ الأخذ بالحسبان تذبذب السرعة والضاغط عن الحدود المسموحة، حيث تمّت إضافة قيمة هذا التذبذب إلى معادلة التابع الهدف، بحيث تتحول لدينا الزيادة أو النقصان في القيمة عن الحدود المسموحة إلى كلفةٍ إضافية تضاف إلى كلفة الحلّ الناتج، مما سيؤثر بشكلٍ كبيرٍ على تقييم (جودة) الحلّ الناتج، ويمكن في حال كون التذبذب في قيمة السرعة أو الضاغط كبيراً أن يؤدي إلى استبعاد الحلّ الناتج حتّى لو كان يمثّل الكلفة الدنيا لعمليّة التحويل المطلوبة.

☺ ☺ ☺

# الفصل الرابع

# النتائج والمناقشة

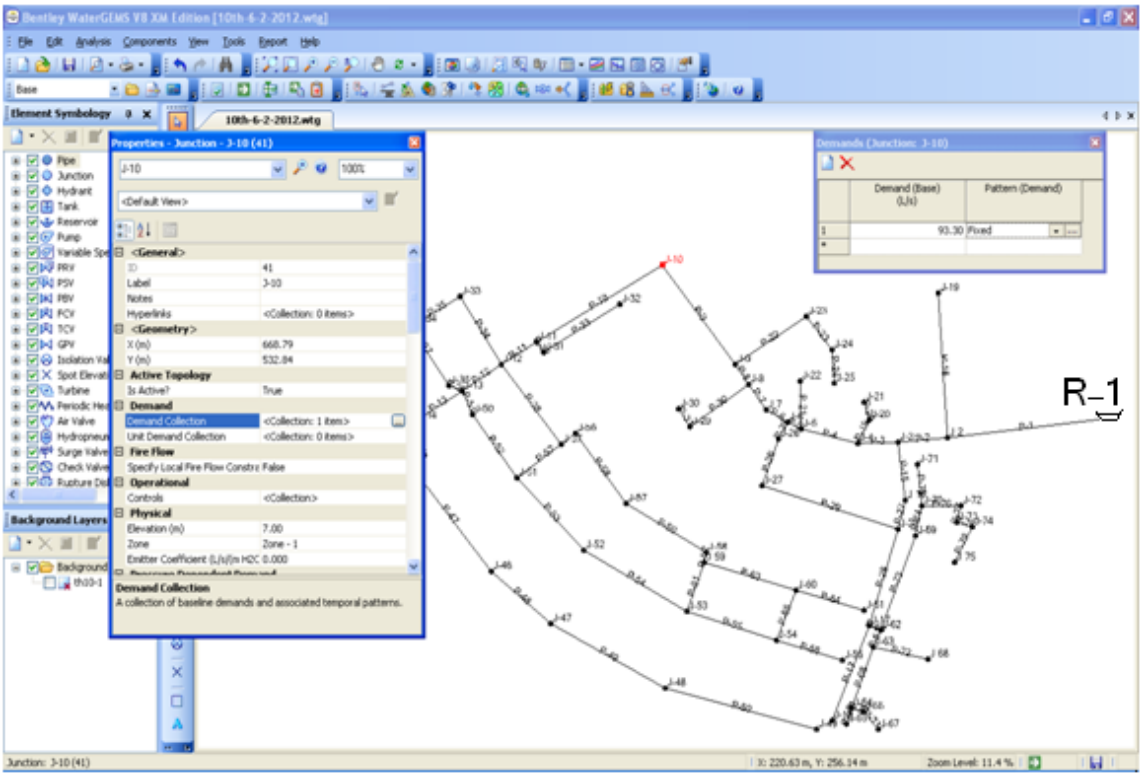
# Results and Discussion

إنّ الهدف الرئيس من هذه الدراسة، هو بيان الوضع المائيّ الحالي في منطقة المشروع. وحساب كلفة تنفيذ الشبكة المنفّذة حالياً كما لو كانت غير منفّذةٍ. وبيان مدى قدرتها على مواجهة الطلب المتزايد على الماء. وهل كان بالإمكان تنفيذ الشبكة بكلفةٍ أقلّ؟. ومحاولة وضع تصوّرٍ جديد للشبكة على الوضع الحلقي. وذلك بوصل نهايات الخطوط السائبة، وتنفيذ وصلاتٍ إضافيةٍ بين الخطوط الأخرى. مع مراعاة الوضع التنظيمي للمنطقة، وحقوق الارتفاق. ومن ثمّ القيام بعمليّة حساب الشبكة على الوضع الحلقيّ الجديد، كما لو كانت الشبكة غير منفّذةٍ بالأساس. بعد ذلك قمنا حساب كلفة تعديل الشبكة المتفرّعة الموجودة حالياً إلى الوضع الحلقي بعد التأكّد من سلامة الوضع الهيدروليكي للشبكة من حيث تحقيقها للشروط الطرفية. ومن ثمّ إيجاد الحلّ الأمثل لعمليّة التعديل هذه والذي يحقّق الشروط الطرفية المطلوبة بأقل كلفةٍ ممكنةٍ، وذلك باستخدام تقنية الخوارزميات الجينية،

من أجل تحقيق ما سبق قمنا بما يلي:

1. رسمنا مخطط الشبكة الحالية من خلال واجهة برنامج WATERGEMs الرسومية على الوضع الحالي المتفرع. كما هو موضح بالشكل (4−1).
2. ثم قمنا بإدخال خصائص كلّ عقدة (الارتفاع، الاحتياج المائيّ المطلوب، منطقة الضغط). وتبيّن أنّ الاحتياج المائي الحالي للمنطقة المبنية (مشغولة وغير مشغولةٍ بالساكنين) يساوي إلى 4326 ل/د. وذلك دون الأخذ بالحسبان الاحتياج المائي لمنطقة التوسّع، حسب البيانات الموجودة في الجدول(3−2).
3. قمنا بإدخال خصائص الأنابيب المنفّذة حالياً (الطول، القطر، نوع مادّة الأنبوب، منطقة الضغط).حسب البيانات الموجودة في الجدول (3−7). واعتبرنا منطقة المشروع منطقة ضغط واحدة. Zone-1. كون المنطقة شبه مستوية طبوغرافيا، مع تداخلٍ للأبنية ذات الارتفاعات المختلفة.

4. قمنا بإدخال خصائص المورد المائي، حيث عُدّ موجوداً في العقدة رقم (1) في بداية منطقة المشروع (منسوب أعلى الخزان، منسوب أخفض مستوى للماء في الخزان). حيث أنّ خزّان بسنادا يشكل موردا مائيا وليس خزّان نوازنٍ للشبكة. شكل (4-1).
5. قمنا بتحديد موضع سكورة القطع على الشبكة وتمّ وضعها جميعاً على الوضع: مفتوح open.
6. قمنا بالحساب الهيدروليكي للشبكة للتأكد من قدرة الشبكة على تحقيق الشروط المطلوبة (الضاغط والغزارة). جدول (4-1).




الشكل(4-1): مخطط الشبكة من خلال واجهة برنامج WaterGems مع جدول خصائص العناصر

جدول (4−1): الحساب الهيدروليكي للشبكة على الوضع المتفرع دون حساب الاحتياج المائي لمنطقة التوسع.

| Time (hours) | Balanced? | Trials | Relative Flow Change | Flow Supplied (L/min) | Flow Demanded (L/min) | Flow Stored (L/min) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| All Time Steps(0) | TRUE | 5 | 0.0000419 | 4326.1 | 4326.1 | 0 |
| 0.000 | TRUE | 5 | 0.0000419 | 4326.1 | 4326.1 | 0 |

بعد ذلك قمنا بإدخال قيم الاحتياج المائي لمنطقة التوسّع، والذي يساوي qnew = 3700 l/min. وتم اعتباره كاحتياج مركز في العقدتين J -9 و J- 10 المجاورتين لمنطقة التوسع حيث $q_{j-9}$= 3077 l/ min و $q_{j-10}$= 793 l/min (أي الاحتياج المائي في العقدة مضافاً إليه الاحتياج المائي لمنطقة التوسع). ثم تم حساب الشبكة على الوضع الهيدروليكي الجديد. فكانت النتائج على الشكل الآتي: جدول (4−2).

جدول (4−2): الحساب الهيدروليكي للشبكة على الوضع المتفرع مع حساب الاحتياج المائي لمنطقة التوسع.

| Time (hours) | Balanced? | Trials | Relative Flow Change | Flow Supplied (L/min) | Flow Demanded (L/min) | Flow Stored (L/min) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| All Time Steps(0) | TRUE | 5 | 0.0003856 | 8026.1 | 8026.1 | 0 |
| 0.000 | TRUE | 5 | 0.0003856 | 8026.1 | 8026.1 | 0 |

عند حساب الشبكة على الوضع المتفرع الحالي، تبيّن أن كلفة الشبكة حسب الجدول (3−5)، المتضمن أسعار الأنابيب المتوفرة في السوق المحلية، والمستخدم لجميع حالات الدراسة، من أجل أنابيب الفونت المرن هي (C2 branch = 26150000 S.P).

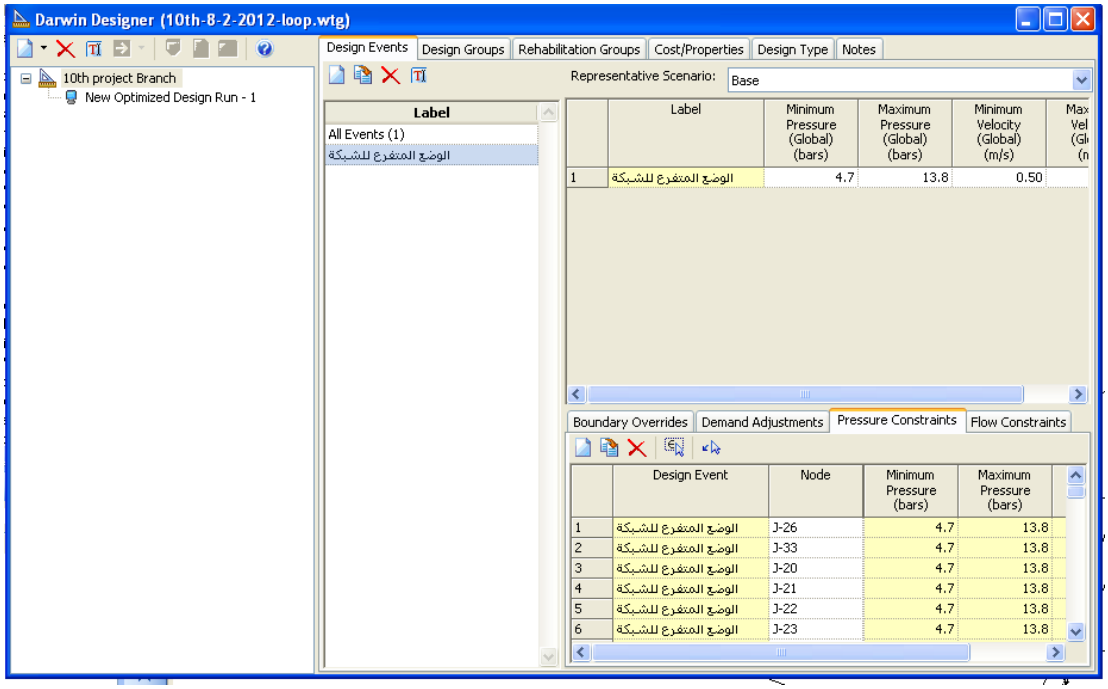
عند حساب الشبكة بواسطة البرنامج المستخدمWaterGems، مع تأمين المياه لمنطقة التوسع لاحقا بواقع 3700 ل/د، على الوضع المتفرّع باستخدام تقنيّة الـ GAs،على الشكل التالي:

قمنا بفتح واجهة مصمّم داروين Darwen Designer من شريط الأدوات واختيار دراسة تصميمية جديدة New Design Study أسميناه شبكة 10th project Branch Network. حيث تمّ اختيار حدثٍ جديدٍ New Design Event أسميناه الوضع المتفرّع الحالي. وتمّ تزويده بشرطي الضاغط المطلوب Pmin = 4.7 Par &Pmax = 13.8 Par، والسرعة المسموحة في الأنابيب

0.2< V< 1.2m/sec للأنابيب ذات القطر أقلّ من 250 مم بينما تمّ زيادة حدود السرعة العظمى المسموحة في الأنابيب ذات القطر 300مم (وهي هنا الأنابيب من P-1 إلى P-13) إلى Vmax = 2 m/sec.وتم تحديد الأنابيب والعقد التي سوف يتم تطبيق الشروط الطرفية عليها، وذلك من خلال نافذتي Pressure And Flow constraints (وهي هنا جميع عقد وأنابيب الشبكة)، الشكل (4−2). كما قمنا بتوزيع الاحتياج المائي لمنطقة التوسع على العقدتين المحاذيتين لمنطقة التوسع)، الشكل(4−7)، من خلال زر , Demand Adjustments: جدول(4−3).

جدول (4−3): الاحتياج المائي لمنطقة التوسع.

| | |
|---|---|
| J - 9 | Q = 3000 l/min |
| J - 10 | Q = 700 l/min |




الشكل(4−2): واجهة حدث جديد تبين إمكانية تزويد السيناريو بشروط طرفية جديدة

من خلال زر cost/ Properties تم تحديد أسعار الأنابيب حسب القطر ونوع المادة. حيث قمنا باختيار أنابيب الفونت المرن ومعامل هازان وليامز لها C = 130 .كما في الجدول (4-4) التالي:

جدول (4-4):أسعار الأنابيب المستخدمة حسب النوع والقطر.

| Material | Diameter | HazenWilliams C | Cost S.P/m |
|---|---|---|---|
| **Cast Iron** | **80** | **130** | **1770** |
| **Cast Iron** | **100** | **130** | **2020** |
| **Cast Iron** | **125** | **130** | **2890** |
| **Cast Iron** | **150** | **130** | **3250** |
| **Cast Iron** | **200** | **30** | **4370** |
| **Cast Iron** | **250** | **130** | **5370** |
| **Cast Iron** | **300** | **130** | **6600** |

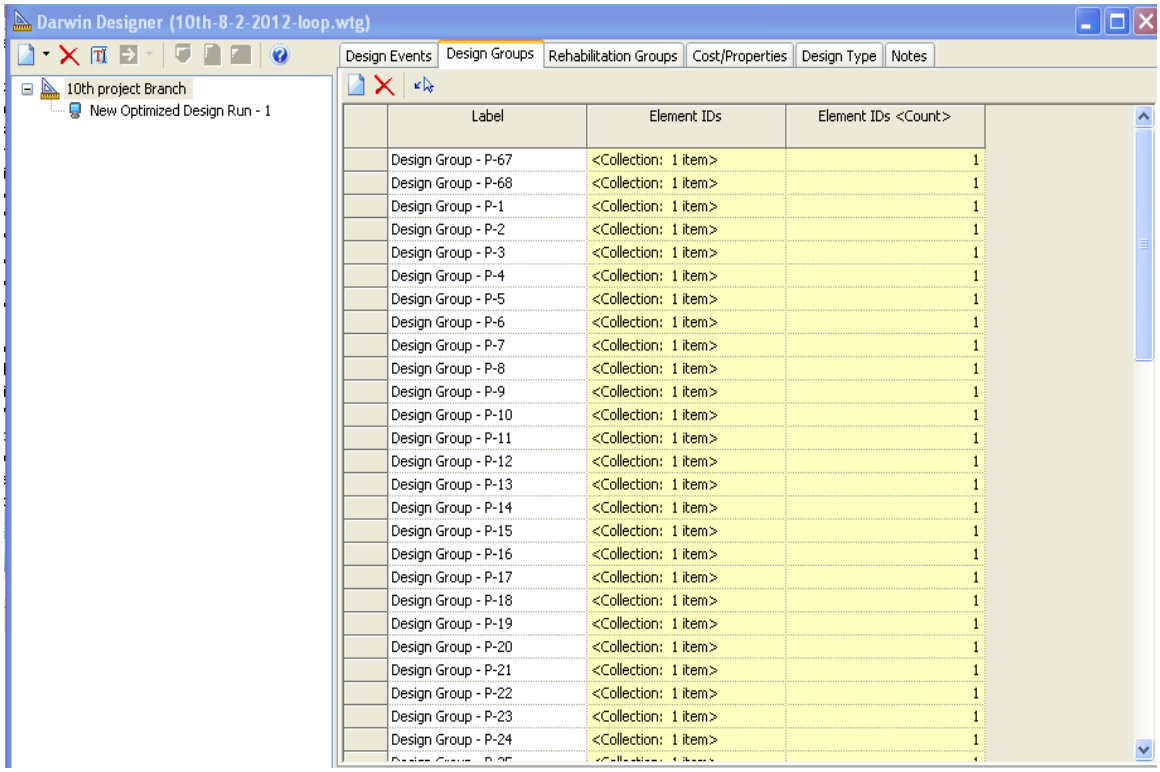
من خلال زر Design Type قمنا باختيار معادلة التابع الهدف وهي في حالتنا Minimize Cost (تصغير الكلفة).

قمنا بفتح New Optimized Design Run مشغّل أمثلة جديد. وتمّ تزويده بالمعلومات التالية:

اسم الحدث الذي سوف تتمّ عليه عملية الأمثلة، وهو هنا (الوضع المتفرّع الحالي).من خلال:

| Design Event | Is Active |
|---|---|
| الوضع المتفرع الحالي | Yes |

من خلال Design Group تمّ تحديد مجموعة الخطوط التي سوف تتم عليها عملية الأمثلة. وهي في حالتنا هذه جميع خطوط الشبكة بتوضّعها الحالي.ويتمّ اختيارها من مخطط الشبكة.



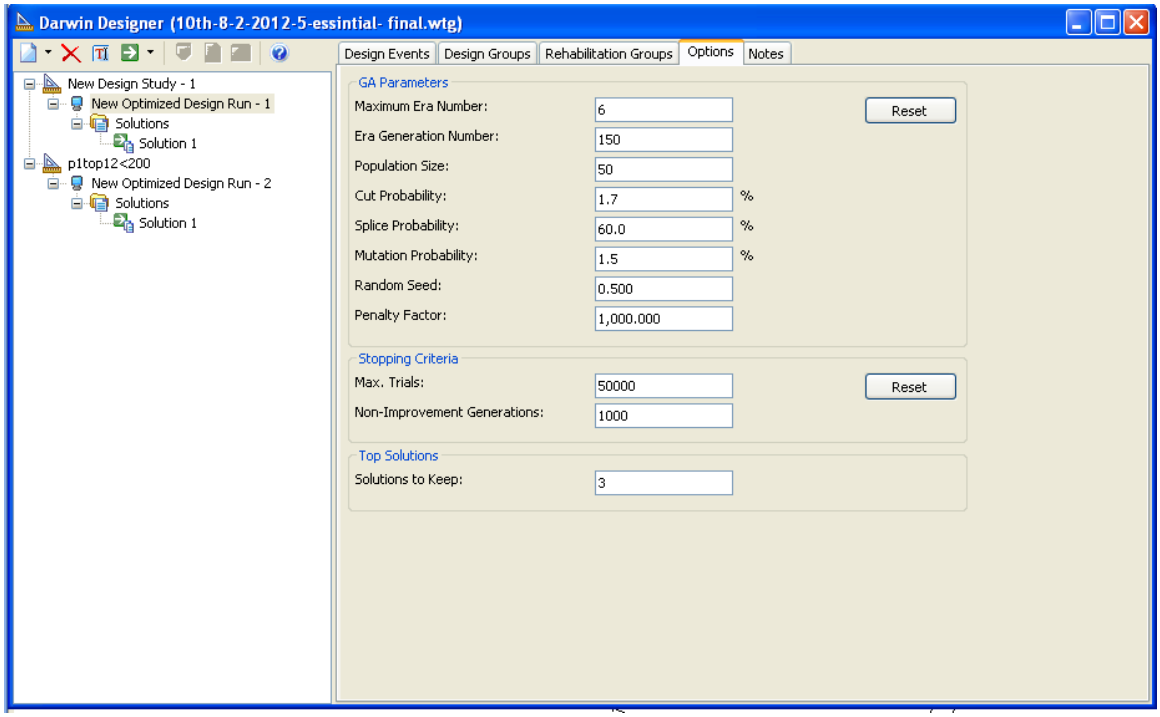

| Label | Element IDs | Element IDs <Count> |
|---|---|---|
| Design Group - P-67 | <Collection: 1 item> | 1 |
| Design Group - P-68 | <Collection: 1 item> | 1 |
| Design Group - P-1 | <Collection: 1 item> | 1 |
| Design Group - P-2 | <Collection: 1 item> | 1 |
| Design Group - P-3 | <Collection: 1 item> | 1 |
| Design Group - P-4 | <Collection: 1 item> | 1 |
| Design Group - P-5 | <Collection: 1 item> | 1 |
| Design Group - P-6 | <Collection: 1 item> | 1 |
| Design Group - P-7 | <Collection: 1 item> | 1 |
| Design Group - P-8 | <Collection: 1 item> | 1 |
| Design Group - P-9 | <Collection: 1 item> | 1 |
| Design Group - P-10 | <Collection: 1 item> | 1 |
| Design Group - P-11 | <Collection: 1 item> | 1 |
| Design Group - P-12 | <Collection: 1 item> | 1 |
| Design Group - P-13 | <Collection: 1 item> | 1 |
| Design Group - P-14 | <Collection: 1 item> | 1 |
| Design Group - P-15 | <Collection: 1 item> | 1 |
| Design Group - P-16 | <Collection: 1 item> | 1 |
| Design Group - P-17 | <Collection: 1 item> | 1 |
| Design Group - P-18 | <Collection: 1 item> | 1 |
| Design Group - P-19 | <Collection: 1 item> | 1 |
| Design Group - P-20 | <Collection: 1 item> | 1 |
| Design Group - P-21 | <Collection: 1 item> | 1 |
| Design Group - P-22 | <Collection: 1 item> | 1 |
| Design Group - P-23 | <Collection: 1 item> | 1 |
| Design Group - P-24 | <Collection: 1 item> | 1 |

الشكل (4–3): مجموعة الأنابيب التي سوف تتمّ عليها عمليّة الأمثلة.

من خلال الخيارات options يتمّ تحديد بارامترات تقنية الخوارزميات الجينية GAs (حجم المجتمع الأولي، نسبة التصالب، نسبة الطفرة، عدد الحلول التي يجب التوقف بعدها البرنامج عن البحث في حال عدم حصول تحسن على قيمة الحل الأمثل....).جدول (4–5). بعد ذلك نقوم بحساب الحدث الجديد (الذي سوف تتمّ عليه عملية الأمثلة) هيدروليكياً. ومن ثمّ نقوم بتشغيل زر compute ليبدأ البرنامج عندها بالبحث عن الحل الأمثل الذي يحقق الشروط الطرفية المطلوبة بأقلّ كلفةٍ ممكنةٍ حسب معادلة التابع الهدف. ويتوقف البحث عند بلوغ عدد المحاولات الأعظمي والمحدّد من قبلنا (Max Trial = 50000)، أو في حال الوصول إلى عدد الأجيال المطلوب ( Era Generation Number = 150). وبعد الانتهاء من البحث نقوم بتسجيل أفضل الحلول التي تمّ الحصول عليها والتي حدّدناها من خلال بارامترات الGAs بثلاثة حلولٍ من بين مجموع الحلول الممكنة. كما هو موضح في الشكل(4–4).

جدول (4-5): بارامترات ال GAs

| | |
|---|---|
| **Maximum Era Number** | **6** |
| **Era Generation Number** | **150** |
| **Population Size** | **50** |
| **Cut Probability** | **1.7%** |
| **Splice Probability** | **60%** |
| **Mutation Probability** | **1.5%** |
| **Penalty Factor** | **100000 S.P** |
| **Max. Trial** | **50000** |




الشكل (4–4): خيارات (بارامترات) الـ GAs.

من خلال ما سبق، كانت كلفة الحلّ الأمثل للشبكة، ولجدول الأنابيب السابقة نفسها على الشكل التالي جدول(4−6):

جدول (4−6): نتائج عملية الأمثلة للشبكة على الوضع الحالي المتفرع

| Solution | Fitness | Total Cost (S.P) |
|---|---|---|
| Solution 1 | 27488090 | 25977786 |

ويمكن رؤية نتائج الحساب كاملةً وفق الجداول الملحقة ((3-2-1) 1-4).

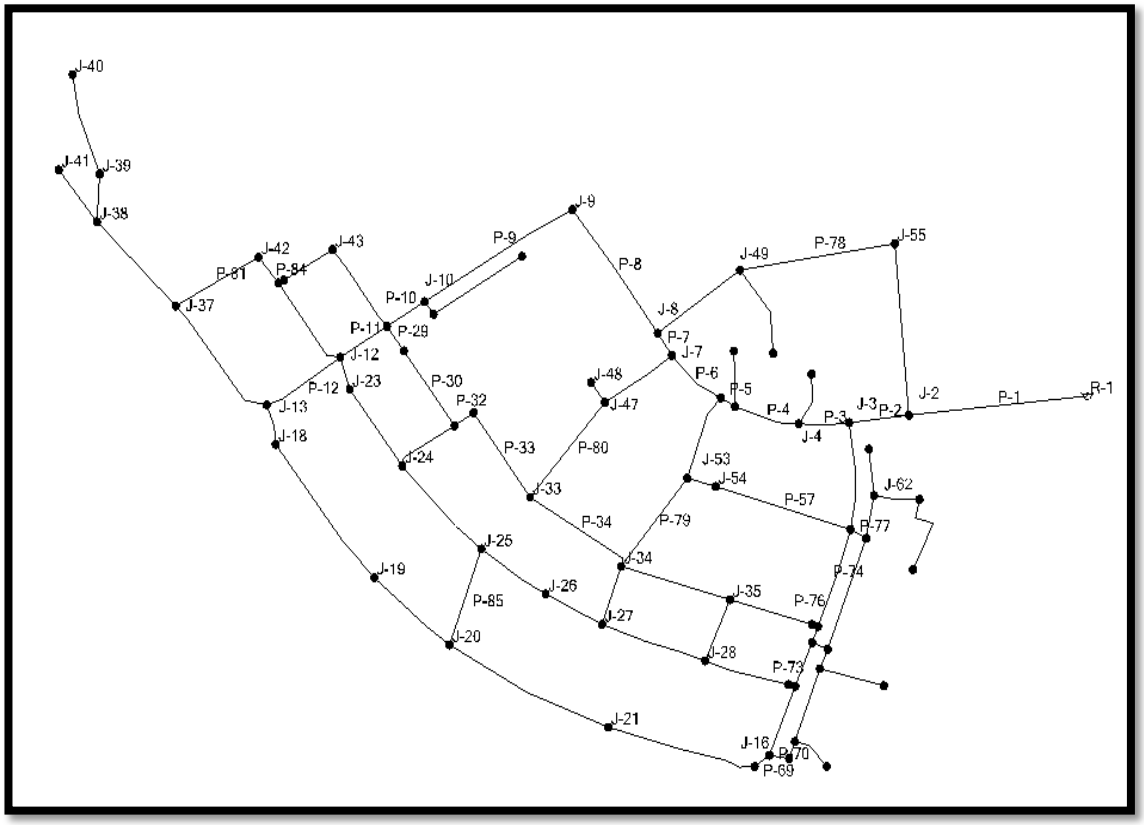
يشير التقارب في النتائج بين الحساب اليدوي والحساب باستخدام تقنية الـ GAs، إلى أنّ احتياجات منطقة التوسع قد أخذت بالحسبان عند دراسة الشبكة قبل التنفيذ. (مع الإشارة إلى الاختلاف في توضع الأنابيب في الشبكة المحسوبة بواسطة تقنية الـ GAs عنه في الوضع الراهن). لم يتم تجاوز الحدود العليا المسموحة للسرعة في الأنابيب جميعها، ولكنّ السرعة في بعض الأنابيب قد انخفضت دون السرعة الدنيا المسموحة (0.5 m/sec)، نظراً لكون الأنابيب موجودةً ولم يتمّ تعديل أقطارها، بغية الاستفادة القصوى من الشبكة المنفذة. بينما كان الضاغط المطلوب توفره في جميع العقد ضمن الحدود المسموحة.

**التوضع الحلقي لشبكة المشروع العاشر:**

نظراً للمزايا التي يحقّقها التوضّع الحلقي للشبكة، فقد قمنا بتنفيذ سيناريو جديد، تمّ بموجبه تحويل الشبكة الموجودة حالياً إلى شبكةٍ حلقيةٍ. وذلك بوصل النهايات السائبة للخطوط، وإضافة وصلاتٍ جديدةٍ قدر الإمكان بين العقد. مع المحافظة على المخطّط التنظيمي، وحقوق الملكيّة. ومن ثمّ تشغيل عملية الأمثلة، لاختيار أفضل توضع للشبكة NetWork Layout. حيث تمّ تطبيق تقنية الخوارزميات الجينية على التوضّع الجديد، بعد إضافة الأنبوب ذي القطر d =0 mm وسعر المتر الطولي منه S = 0 S.p إلى جدول أسعار الأنابيب، من خلال نافذة الكلفة (cost/Properties). وذلك لتمكين البرنامج من إلغاء بعض الخطوط التي لا تسهم في تحسين مردودية الشبكة. فتمّ من خلال ذلك إضافة أربعة عشر أنبوباً جديداً، حسب الجدول (4−7)، وأصبح عدد خطوط الشبكة 82 خطّاً. وعدد العقد 67 عقدةً، بينما تكون لدينا 15 حلقةً. كما في الشكل (4−5)

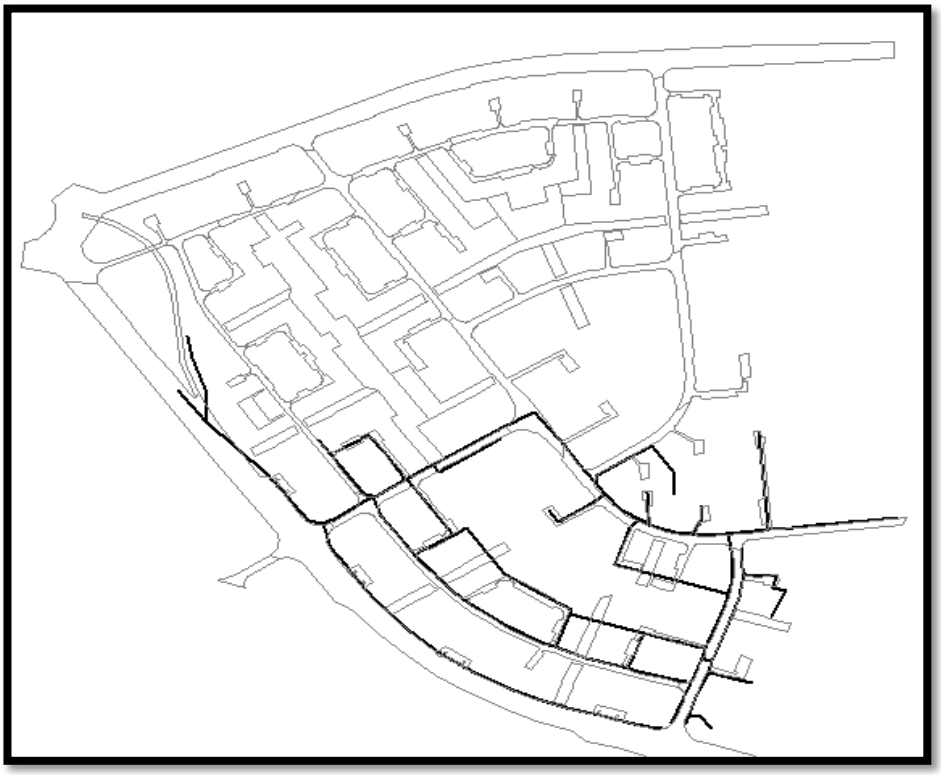
جدول (4-7):الأنابيب الجديدة المضافة إلى الشبكة

| Label | Start Node | Stop Node | Diameter (mm) | Length (m) | Label | Start Node | Stop Node | Diameter (mm) | Length (m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| P-29 | J-11 | J-30 | 80 | 26.5 | P-77 | J-14 | J-61 | 100 | 25 |
| P-32 | J-31 | J-32 | 80 | 33.3 | P-78 | J-49 | J-55 | 100 | 250 |
| P-57 | J-54 | J-14 | 100 | 202 | P-79 | J-53 | J-34 | 100 | 160 |
| P-69 | J-16 | J-22 | 100 | 25 | P-80 | J-47 | J-33 | 100 | 160 |
| P-70 | J-16 | J-58 | 100 | 28 | P-81 | J-42 | J-37 | 100 | 130 |
| P-73 | J-29 | J-66 | 100 | 15 | P-84 | J-44 | J-68 | 100 | 15 |
| P-76 | J-36 | J-67 | 100 | 12 | P-85 | J-20 | J-25 | 100 | 140 |




الشكل(4-5): المخطط الحلقي لشبكة المشروع العاشر.

قمنا بتطبيق تقنية الخوارزميات الجينية على الشبكة الجديدة من خلال نافذة مصمم داروين. حيث قمنا بوضع سيناريو جديد يتضمن الخطوط المضافة والتي تم إعطاؤها منطقة الضغط نفسها zone-1، (لأنه ليس من الممكن تقسيم منطقة الدراسة إلى مناطق ضغط بسبب تداخل الأبنية العالية والمنخفضة بشكل كبير وعدم وجود فروق تذكر في مناسيب العقد).



الشكل (4–6): مخطط شبكة مياه المشروع العاشر مع بيان منطقة التوسع.

اخترنا نوعية الأنابيب نفسها المستخدمة عند تنفيذ الشبكة. كما تمّ الحفاظ على مدخلات الضاغط والسرعة المسموحين كشروط طرفية. وفي قائمة Design Group قمنا باختيار الخطوط التي سوف تشارك في عملية الأمثلة، وهي الخطوط المضافة التي حولت الشبكة إلى الوضع الحلقي. ثم قمنا باختبار السيناريو للنموذج هيدروليكياً، وتم تدارك الملاحظات التي ظهرت، وأصبح السيناريو جاهزاً للأمثلة. أعطينا نفس بارامترات ال GAs السابقة للتصميم الجديد. وبعد ذلك أجريت عملية الأمثلة، فكانت النتائج على الشكل التالي، جدول (4–8):

الجدول (4−8): نتائج عملية الأمثلة لتحويل الشبكة إلى الوضع الحلقي

| Solution | Fitness | Total Cost S.P |
|---|---|---|
| Solution 1 | 3749444.25 | 2178646 |

نلاحظ أنّ الضاغط في جميع العقد كان ضمن الحدود المسموحة. وشرط عدم تجاوز السرعة العظمى في جميع الأنابيب كان محققاً. بينما حدث تذبذب في حدود السرعة الدنيا المسموحة في بعض الأنابيب، ومردّ ذلك لوجود عدد من الخطوط المتفرعة الموصولة إلى الحلقات المكونة للشبكة. والقطر الأصغري المتوفّر في السوق المحلية هو 80 مم. [نتائج عملية الأمثلة من حيث الكلفة المثلى حسب قطر الأنابيب، وحدود الضاغط والغزارة مبينة في الجداول الملحقة (3-2-1)-3-4].

ولدى مناقشة النتائج التي حصلنا عليها تبيّن أنّ السرعة لم تتجاوز السرعة الحدية العظمى في جميع الأنابيب. لكنّها أعطت قيماً أدنى في بعض الأنابيب. وذلك نظراً لأنّ الأنابيب موجودة أصلاً، وبأقطار كبيرة. واحتياج مائي ضعيف نسبياً بالنسبة لأقطار الأنابيب المنفذة. ولوجود بعض العقد الطرفية الموصولة بشكل متفرع. على أن الضاغط المطلوب في العقد كان محققاً في كلّ العقد.

لزيادة السرعة الدنيا في الأنابيب، تمّ التفكير بتنفيذ سيناريو جديد، يتم من خلاله تنفيذ خطٍّ جديدٍ يصل بين العقد J- 2 و J- 12 . حيث يقوم هذا الخط بتغذية شبكة حي المشروع العاشر المنفّذة والمستثمرة حالياً. بعد إعادة الاحتياج المائي في العقدتين J- 9 و J- 10 إلى الوضع الطبيعي دون الأخذ بالحسبان احتياج منطقة التوسّع. على أن يتمّ تغذية منطقة التوسع من الخط القديم قطر 300 مم. وبحيث يتمّ فصل منطقة التوسع عن المنطقة الحالية. وبعد أن تمّ تحديد الخطوط الداخلة في عملية الأمثلة، وحدود الضاغط في العقد والسرعة المسموحة في الأنابيب، وتحديد بارامترات ال GAs أجرينا الحساب الهيدروليكي من جديد للتأكد من الشروط الضمنية (مجموع الغزارات الداخلة إلى العقدة و الغزارات الخارجة من العقدة والغزارة المستهلكة في العقدة مساوٍ للصفر. ومجموع الضياعات في كلّ حلقةٍ مساوٍ للصفر أيضاً). أجرينا الحساب المطلوب. فكانت النتائج على الشكل الآتي جدول (4−9):

جدول (4−9): نتائج عملية الأمثلة بعد فصل منطقة التوسع.

| Solution | Fitness | Total Cost (S.P) |
|---|---|---|
| Solution 1 | 7476403.5 | 5885102.5 |

تبين من خلال النتائج عمليّة الأمثلة حدوث تحوّلٍ في هيكلية الشبكة، حيث أصبح الخط الواصل بين العقد J -2 و J -69 هو الخط الرئيسي الذي يغذي منطقة المشروع. بينما تحول الخط الواصل بين العقد J – 2 إلى J – 12 خطا فرعيا. مع تحقيق شرط عدم تجاوز شرط الضاغط الأصغري والأعظمي. كما تبيّن عدم تجاوز الحدود العليا المسموحة للسرعة في الأنابيب، بينما تذبذبت السرعة حول السرعة الدنيا المسموحة في بعض الخطوط نتيجة عدم التعرض للأنابيب المنفّذة، وعدم إدخالها في عملية الأمثلة. بغية تقليل كلفة التعديل قدر الإمكان. على أن نقوم بالاستفادة المثلى من الخط الواصل بين العقدة J -2 و العقدة J – 12 والمنفذ حالياً لتغذية منطقة التوسّع، وتأمين المياه اللازمة لإطفاء الحرائق.[ النتائج مبينة في الجداول الملحقة (3-2-1)– 4-4].

بالنظر إلى النتائج التي حصلنا عليها من خلال تطبيق تقنية الGAS على شبكة مياه حي المشروع العاشر والذي يبين قدرة هذه التقنية على إيجاد أفضل الحلول المتاحة من بين الحلول الممكنة، قادنا ذلك للتساؤل التالي:

ماذا لو تمّت دراسة الشبكة بواسطة تقنية الخوارزميات الجينية لتغذية المنطقة المدروسة؟ وذلك قبل تنفيذها. وهل كان سيظهر لدينا اختلاف ملموس في كلفة تنفيذ الشبكة؟ للإجابة على هذا التساؤل، تم رسم الشبكة من خلال واجهة البرنامج من جديد، وتحميل خصائص العقد والأنابيب وخزان التغذية، وتحديد الشروط الطرفية المطلوبة، (كما هو وارد في الجداول (3−2)(3−7)) من خلال سيناريو جديد. كما قمنا بإضافة الاحتياج المائي لمنطقة التوسع كغزارة مركزة في العقدتين J-9 و J-10 جدول (4−3). ثم قمنا بتشغيل مصمم داروين بعد تحديد جدول الأسعار نفسه للأنابيب المتوفرة والتي استخدمت في عمليات الأمثلة السابقة جدول (4−4). و بارامترات تقنية ال GAs نفسها المستخدمة لجميع السيناريوهات جدول (5−5). ولكننا هنا قمنا بإخضاع جميع الخطوط في الشبكة لعملية الأمثلة من خلال اختيار جميع الأنابيب من خلال تعليمة Design Group بعد ذلك تم فحص السيناريو الجديد للتأكد من عدم وجود خطأ هيدروليكي ثم قمنا بتشغيل مصمم داروين، فكانت النتائج على الشكل الآتي، جدول (4−10):

جدول (4−10): نتائج إخضاع الشبكة بالكامل لعملية الأمثلة

| Solution | Fitness | Total Cost S.P)ِ( |
|---|---|---|
| Solution 1 | 30732454 | 29088672 |

نتائج كلفة عملية الأمثلة لكامل الشبكة حسب الجدول الملحق(4−5−1).

يتبيّن من النتيجة النهائية لعملية الأمثلة التي تمّت على الشبكة، أنّ الكلفة المثلى التي حصلنا عليها هي أكبر من كلفة تنفيذ الشبكة على الوضع المتفرّع بحوالي 3000000 S.P. وهو أمر طبيعي لكون كلفة تنفيذ الشبكات الحلقية أعلى منه في الشبكات المتفرّعة. كما يظهر تقييم الحل Fitness أنّ هنالك كلفة إضافية ناجمة عن مخالفة الشروط الطرفية. كما تمّ من خلال مراقبة نتائج الضاغط في العقد للحل الأمثل ملاحظة أنّ الضاغط في جميع العقد ضمن الحدود المسموحة. جدول ملحق (4−5−2). في حين حصل تجاوز للحد الأعلى للسرعة في العقد J -5, J-23, J-31, J-78. أضيفت كلفة مخالفة السرعة إلى الحل. كما أضيفت كلفة مخالفة الحد الأدنى للسرعة (والتي حدثت في السيناريوهات جميعها والحلول لوجود خطوط متفرعة واحتياج مائي صغير نسبيا في العقد مقارنة مع مجموعة الأقطار المتوفرة في السوق المحلية) إلى كلفة الحل الناتج. جدول ملحق (4−5−3).

تجدر الإشارة إلى أنه يمكن إعادة حساب الشبكة بتغيير نوعية الأنابيب المستخدمة إلى بولي إيتيلين. ومقارنة النتائج بالنتائج السابقة لبيان مدى تأثير كلفة المتر الطولي على جودة الحل الناتج. كما يمكن دراسة مدى تأثير تغيير بارامترات الـ GA على نتائج الدراسة.

# الاستنتاجات والتوصيات

## الاستنتاجات:

- عند دراسة شبكة مياه الشرب للمشروع العاشر تبيّن أن أصغر قطر للأنابيب تمّ استخدامه في الشبكة هو 80 مم، وبما أن الاحتياج المائي في العقد صغير نوعا ما فقد كانت السرع في بعض هذه الأنابيب أصغر من الحدود الدنيا المسموحة.
- ظهور تحسّنٍ على هيدروليكية الشبكة، (تأمين الغزارة المطلوبة في كل عقدة بالضاغط الكافي) جرّاء استخدام النظام الحلقي، على الرغم من حساب الاحتياج المائي وكأنّ المشروع مستثمر ومشغول بالكامل.
- من خلال استخدام تقنية GA في هذه الدراسة، مكّنتنا هذه التقنية من تحويل الشبكة المتفرعة إلى شبكةٍ حلقيةٍ افتراضياً، دون الحاجة إلى تشكيل معادلةٍ للحل، وبأقل قدرٍ ممكنٍ من البيانات والقياسات للمسألة المدروسة.
- مكّنتنا تقنية الـ GA من معرفة كلفة التحويل بما يحقّق الشروط الطرفية بأقلّ كلفةٍ وأعلى موثوقيةٍ.
- كما تبيّن إمكانية إجراء عملية الأمثلة على سيناريوهات مختلفة. ومقارنة النتائج التي حصلنا عليها لكل سيناريو، واختيار السيناريو الذي يفي بجميع الاشتراطات المطلوبة.

وبناءً عليه فإننا نوصي بالمقترحات الآتية:

## التوصيات:

- استكمال قاعدة البيانات بدقّة لشبكات مياه الشرب في مدينة اللاذقية ككل. وإعادة تقييم هذه الشبكات اعتماداً على تقنية GA. وبيان الشبكات التي تحتاج لتبديل كليٍّ أو جزئيٍّ في ضوء هذا التقييم.
- دراسة إمكانيّة تحويل الشبكات المتفرّعة إلى الشكل الحلقي، لما لهذه الشبكات من دورٍ كبيرٍ في تحقيق مستوىً عالٍ من الموثوقية.

- الاستفادة من تقنيّة الخوارزميّات الجينيّة في إيجاد الحلول المثلى لأنظمة توزيع المياه في المدن السورية، بأقل كلفةٍ ممكنةٍ. سواء في مرحلة الدراسات والتصميم، أو في مرحلة الاستثمار والتشغيل.
- الاستفادة من تقنيّة الخوارزميّات الجينيّة في المجالات التي تعنى بالقطاع المائي، وفي الحقول الهندسية الأخرى.

☺ ☺ ☺

# الجداول الملحقة

الجدول(1-1-4):الحل الأمثل للوضع المتفرع لشبكة المشروع العاشر باستخدام تقنية الخوارزميات الجينية

| Design Group | Pipe | Material | Hazen-Williams C | Diameter (mm) | Cost (S.P) |
|---|---|---|---|---|---|
| Design Group - P-1 | P-1 | Cast iron | 110 | 300 | 6600 |
| Design Group - P-2 | P-2 | Cast iron | 110 | 300 | 625020 |
| Design Group - P-3 | P-3 | Cast iron | 110 | 300 | 513480 |
| Design Group - P-4 | P-4 | Cast iron | 110 | 300 | 687060 |
| Design Group - P-5 | P-5 | Cast iron | 110 | 250 | 107400 |
| Design Group - P-6 | P-6 | Cast iron | 110 | 300 | 699600.1 |
| Design Group - P-7 | P-7 | Cast iron | 110 | 250 | 207282 |
| Design Group - P-8 | P-8 | Cast iron | 110 | 300 | 1475100 |
| Design Group - P-9 | P-9 | Cast iron | 110 | 200 | 1175967 |
| Design Group - P-10 | P-10 | Cast iron | 110 | 200 | 324691 |
| Design Group - P-11 | P-11 | Cast iron | 110 | 250 | 443562 |
| Design Group - P-12 | P-12 | Cast iron | 110 | 125 | 328015 |
| Design Group - P-13 | P-13 | Cast iron | 110 | 100 | 365822 |
| Design Group - P-14 | P-14 | Cast iron | 110 | 200 | 630591 |
| Design Group - P-15 | P-15 | Cast iron | 110 | 100 | 352288 |
| Design Group - P-16 | P-16 | Cast iron | 110 | 200 | 111435 |
| Design Group - P-17 | P-17 | Cast iron | 110 | 125 | 224842 |
| Design Group - P-18 | P-18 | Cast iron | 110 | 100 | 560146 |
| Design Group - P-19 | P-19 | Cast iron | 110 | 300 | 1098900 |
| Design Group - P-20 | P-20 | Cast iron | 110 | 100 | 470256 |
| Design Group - P-21 | P-21 | Cast iron | 110 | 125 | 638112 |
| Design Group - P-22 | P-22 | Cast iron | 110 | 150 | 180375 |
| Design Group - P-23 | P-23 | Cast iron | 110 | 300 | 831600.1 |
| Design Group - P-24 | P-24 | Cast iron | 110 | 150 | 575250 |
| Design Group - P-25 | P-25 | Cast iron | 110 | 250 | 555795 |
| Design Group - P-26 | P-26 | Cast iron | 110 | 250 | 633660 |
| Design Group - P-27 | P-27 | Cast iron | 110 | 100 | 351076 |
| Design Group - P-28 | P-28 | Cast iron | 110 | 125 | 386104 |
| Design Group - P-30 | P-30 | Cast iron | 110 | 100 | 299768 |
| Design Group - P-31 | P-31 | Cast iron | 110 | 80 | 175584 |
| Design Group - P-33 | P-33 | Cast iron | 110 | 125 | 457776 |
| Design Group - P-34 | P-34 | Cast iron | 110 | 150 | 535274.9 |
| Design Group - P-35 | P-35 | Cast iron | 110 | 250 | 933306 |
| Design Group - P-36 | P-36 | Cast iron | 110 | 125 | 408068 |
| Design Group - P-37 | P-37 | Cast iron | 110 | 100 | 177760 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Design Group - P-38 | P-38 | Cast iron | 110 | 300 | 554400 |
| Design Group - P-39 | P-39 | Cast iron | 110 | 80 | 354000 |
| Design Group - P-40 | P-40 | Cast iron | 110 | 150 | 571999.9 |
| Design Group - P-41 | P-41 | Cast iron | 110 | 100 | 128270 |
| Design Group - P-42 | P-42 | Cast iron | 110 | 80 | 281430 |
| Design Group - P-43 | P-43 | Cast iron | 110 | 250 | 502632 |
| Design Group - P-44 | P-44 | Cast iron | 110 | 80 | 332760 |
| Design Group - P-45 | P-45 | Cast iron | 110 | 100 | 294112 |
| Design Group - P-46 | P-46 | Cast iron | 110 | 250 | 418860 |
| Design Group - P-47 | P-47 | Cast iron | 110 | 80 | 37170 |
| Design Group - P-48 | P-48 | Cast iron | 110 | 150 | 524875 |
| Design Group - P-49 | P-49 | Cast iron | 110 | 80 | 213108 |
| Design Group - P-50 | P-50 | Cast iron | 110 | 250 | 200838 |
| Design Group - P-51 | P-51 | Cast iron | 110 | 80 | 285147 |
| Design Group - P-52 | P-52 | Cast iron | 110 | 200 | 599127 |
| Design Group - P-53 | P-53 | Cast iron | 110 | 100 | 155944 |
| Design Group - P-54 | P-54 | Cast iron | 110 | 100 | 143420 |
| Design Group - P-55 | P-55 | Cast iron | 110 | 80 | 251694 |
| Design Group - P-56 | P-56 | Cast iron | 110 | 200 | 204953 |
| Design Group - P-58 | P-58 | Cast iron | 110 | 80 | 431703 |
| Design Group - P-59 | P-59 | Cast iron | 110 | 80 | 52038 |
| Design Group - P-60 | P-60 | Cast iron | 110 | 80 | 199302 |
| Design Group - P-61 | P-61 | Cast iron | 110 | 80 | 45135 |
| Design Group - P-62 | P-62 | Cast iron | 110 | 250 | 318441 |
| Design Group - P-63 | P-63 | Cast iron | 110 | 150 | 319150 |
| Design Group - P-64 | P-64 | Cast iron | 110 | 80 | 286740 |
| Design Group - P-65 | P-65 | Cast iron | 110 | 80 | 123900 |
| Design Group - P-66 | P-66 | Cast iron | 110 | 150 | 210600 |
| Design Group - P-67 | P-67 | Cast iron | 110 | 80 | 125670 |
| Design Group - P-68 | P-68 | Cast iron | 110 | 100 | 262802 |

الجدول (2-1-4): نتائج الضاغط في العقد للوضع الأمثل المتفرع

| Design Event | Element | Required Minimum Pressure (bars) | Required Maximum Pressure (bars) | Simulated Pressure (bars) | Violation (bars) |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | J-2 | 4.7 | 13.8 | 6.3 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | J-3 | 4.7 | 13.8 | 6.2 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | J-4 | 4.7 | 13.8 | 6.2 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | J-5 | 4.7 | 13.8 | 6.1 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | J-6 | 4.7 | 13.8 | 6.1 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | J-7 | 4.7 | 13.8 | 6 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | J-8 | 4.7 | 13.8 | 5.9 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | J-9 | 4.7 | 13.8 | 5.7 | 0 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | J-10 | 4.7 | 13.8 | 5.3 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | J-11 | 4.7 | 13.8 | 5.2 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | J-12 | 4.7 | 13.8 | 5.3 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | J-13 | 4.7 | 13.8 | 5.3 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | J-14 | 4.7 | 13.8 | 5.8 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | J-15 | 4.7 | 13.8 | 5.9 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | J-16 | 4.7 | 13.8 | 5.9 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | J-17 | 4.7 | 13.8 | 5.9 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | J-18 | 4.7 | 13.8 | 5.2 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | J-19 | 4.7 | 13.8 | 5.2 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | J-20 | 4.7 | 13.8 | 5.1 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | J-21 | 4.7 | 13.8 | 5.2 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | J-22 | 4.7 | 13.8 | 5.1 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | J-23 | 4.7 | 13.8 | 5.2 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | J-24 | 4.7 | 13.8 | 5.1 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | J-25 | 4.7 | 13.8 | 4.9 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | J-26 | 4.7 | 13.8 | 5.1 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | J-27 | 4.7 | 13.8 | 5.1 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | J-28 | 4.7 | 13.8 | 5.2 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | J-29 | 4.7 | 13.8 | 5.1 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | J-30 | 4.7 | 13.8 | 4.8 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | J-31 | 4.7 | 13.8 | 4.8 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | J-32 | 4.7 | 13.8 | 4.9 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | J-33 | 4.7 | 13.8 | 5.2 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | J-34 | 4.7 | 13.8 | 4.9 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | J-35 | 4.7 | 13.8 | 5.1 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | J-36 | 4.7 | 13.8 | 5.2 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | J-37 | 4.7 | 13.8 | 5.2 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | J-38 | 4.7 | 13.8 | 5.2 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | J-39 | 4.7 | 13.8 | 5.3 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | J-40 | 4.7 | 13.8 | 5.3 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | J-41 | 4.7 | 13.8 | 5.2 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | J-42 | 4.7 | 13.8 | 5.3 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | J-43 | 4.7 | 13.8 | 5.2 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | J-44 | 4.7 | 13.8 | 5.2 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | J-45 | 4.7 | 13.8 | 5.1 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | J-46 | 4.7 | 13.8 | 5 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | J-47 | 4.7 | 13.8 | 5.9 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | J-48 | 4.7 | 13.8 | 5.9 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | J-49 | 4.7 | 13.8 | 5.7 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | J-50 | 4.7 | 13.8 | 5.7 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | J-51 | 4.7 | 13.8 | 6 | 0 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | J-52 | 4.7 | 13.8 | 6.1 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | J-53 | 4.7 | 13.8 | 5.9 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | J-54 | 4.7 | 13.8 | 5.9 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | J-55 | 4.7 | 13.8 | 6.3 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | J-56 | 4.7 | 13.8 | 5.9 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | J-57 | 4.7 | 13.8 | 6 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | J-58 | 4.7 | 13.8 | 6 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | J-59 | 4.7 | 13.8 | 6 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | J-60 | 4.7 | 13.8 | 6 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | J-61 | 4.7 | 13.8 | 5.8 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | J-62 | 4.7 | 13.8 | 5.7 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | J-63 | 4.7 | 13.8 | 5.8 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | J-64 | 4.7 | 13.8 | 5.7 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | J-65 | 4.7 | 13.8 | 5.7 | 0 |

الجدول (3-1-4): نتائج السرعة للحل الأمثل للوضع المتفرع للشبكة الحالية

| Design Event | Element | Minimum Velocity (m/s) | Maximum Velocity (m/s) | Simulated Velocity (m/s) | Violation (m/s) |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | P-2 | 0.2 | 2 | 1.89 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | P-5 | 0.2 | 2 | 2.46 | 0.46 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | P-7 | 0.2 | 2 | 2.35 | 0.35 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | P-10 | 0.2 | 2 | 1.32 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | P-11 | 0.2 | 2 | 0.74 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | P-16 | 0.2 | 1.2 | 0.18 | 0.02 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | P-22 | 0.2 | 1.2 | 1.17 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | P-23 | 0.2 | 1.2 | 0.27 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | P-26 | 0.2 | 1.2 | 0.19 | 0.01 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | P-30 | 0.2 | 1.2 | 0.25 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | P-33 | 0.2 | 1.2 | 0.16 | 0.04 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | P-35 | 0.2 | 1.2 | 0.05 | 0.15 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | P-36 | 0.2 | 1.2 | 0.09 | 0.11 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | P-37 | 0.2 | 1.2 | 0.07 | 0.13 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | P-38 | 0.2 | 1.2 | 0.1 | 0.1 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | P-40 | 0.2 | 1.2 | 0.08 | 0.12 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | P-41 | 0.2 | 1.2 | 0.09 | 0.11 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | P-43 | 0.2 | 1.2 | 0.01 | 0.19 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | P-46 | 0.2 | 1.2 | 0.04 | 0.16 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | P-47 | 0.2 | 1.2 | 0.52 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | P-48 | 0.2 | 1.2 | 0.06 | 0.14 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | P-50 | 0.2 | 1.2 | 0.01 | 0.19 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | P-53 | 0.2 | 1.2 | 0.04 | 0.16 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | P-56 | 0.2 | 1.2 | 0.01 | 0.19 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | P-58 | 0.2 | 1.2 | 0.27 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | P-59 | 0.2 | 1.2 | 0.56 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | P-60 | 0.2 | 1.2 | 0.37 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | P-63 | 0.2 | 1.2 | 0.02 | 0.18 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | P-64 | 0.2 | 1.2 | 0.5 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | P-65 | 0.2 | 1.2 | 0.42 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | P-66 | 0.2 | 1.2 | 0.02 | 0.18 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | P-54 | 0.2 | 1.2 | 0.06 | 0.14 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | P-3 | 0.2 | 2 | 1.73 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | P-4 | 0.2 | 2 | 1.72 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | P-55 | 0.2 | 1.2 | 0.32 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | P-52 | 0.2 | 1.2 | 0.01 | 0.19 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | P-51 | 0.2 | 1.2 | 0.44 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | P-6 | 0.2 | 2 | 1.67 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | P-49 | 0.2 | 1.2 | 0.32 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | P-8 | 0.2 | 2 | 1.58 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | P-9 | 0.2 | 2 | 1.88 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | P-45 | 0.2 | 1.2 | 0.45 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | P-44 | 0.2 | 1.2 | 0.24 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | P-12 | 0.2 | 2 | 1.03 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | P-39 | 0.2 | 1.2 | 0.44 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | P-17 | 0.2 | 1.2 | 0.33 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | P-42 | 0.2 | 1.2 | 0.07 | 0.13 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | P-18 | 0.2 | 1.2 | 0.42 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | P-24 | 0.2 | 1.2 | 0.67 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | P-19 | 0.2 | 1.2 | 0.04 | 0.16 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | P-20 | 0.2 | 1.2 | 0.18 | 0.02 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | P-25 | 0.2 | 1.2 | 0.22 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | P-27 | 0.2 | 1.2 | 0.07 | 0.13 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | P-28 | 0.2 | 1.2 | 0.03 | 0.17 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | P-31 | 0.2 | 1.2 | 1.1 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | P-34 | 0.2 | 1.2 | 0.2 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | P-13 | 0.2 | 2 | 1.44 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | P-67 | 0.2 | 1.2 | 0.13 | 0.07 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | P-68 | 0.2 | 1.2 | 0.02 | 0.18 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | P-14 | 0.2 | 2 | 0.35 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | P-1 | 0.2 | 2 | 1.93 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | P-61 | 0.2 | 1.2 | 0.12 | 0.08 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | P-62 | 0.2 | 1.2 | 0.01 | 0.19 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | P-15 | 0.2 | 2 | 0.55 | 0 |
| 0.2<V<1.2, 4.7<H<13.8 | P-21 | 0.2 | 1.2 | 0.06 | 0.14 |

الجدول(1-2-4): الحل الأمثل لتحويل الشبكة إلى الوضع الحلقي

| Solution | Fitness | Total Cost S.P |
|---|---|---|
| Solution 1 | 3749444.25 | 2178646 |

الجدول (1-3-4): الكلفة المثلى لتحويل الشبكة الحالية إلى الوضع الحلقي حسب أقطار الأنابيب المتوفرة

| Design Group | Pipe | Material | Hazen-Williams C | Diameter (mm) | Cost (S.P) |
|---|---|---|---|---|---|
| Design Group - P-69 | P-69 | Cast iron | 130 | 80 | 44250 |
| Design Group - P-70 | P-70 | Cast iron | 130 | 100 | 56560 |
| Design Group - P-73 | P-73 | Cast iron | 130 | 80 | 26550 |
| Design Group - P-76 | P-76 | Cast iron | 130 | 80 | 21240 |
| Design Group - P-77 | P-77 | Cast iron | 130 | 80 | 49560 |
| Design Group - P-57 | P-57 | Cast iron | 130 | 80 | 357540 |
| Design Group - P-78 | P-78 | Cast iron | 130 | 80 | 442500 |
| Design Group - P-79 | P-79 | Cast iron | 130 | 80 | 283200 |
| Design Group - P-80 | P-80 | Cast iron | 130 | 80 | 283200 |
| Design Group - P-85 | P-85 | Cast iron | 130 | 80 | 247800 |
| Design Group - P-32 | P-32 | Cast iron | 130 | 80 | 58941 |
| Design Group - P-29 | P-29 | Cast iron | 130 | 80 | 46905 |
| Design Group - P-84 | P-84 | Cast iron | 130 | 80 | 26550 |
| Design Group - P-81 | P-81 | Cast iron | 130 | 80 | 230100 |

الجدول(2-3-4): الضاغط المسموح في العقد نتيجة الحل الأمثل لتحويل الشبكة الحالية إلى الوضع الحلقي

| Design Event | Element | Required Minimum Pressure (bars) | Required Maximum Pressure (bars) | Simulated Pressure (bars) | Violation (bars) |
|---|---|---|---|---|---|
| حدود الضاغط> 4.7 | J-2 | 4.7 | 13.8 | 6.3 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | J-3 | 4.7 | 13.8 | 6.2 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | J-4 | 4.7 | 13.8 | 6.3 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | J-5 | 4.7 | 13.8 | 6.3 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | J-6 | 4.7 | 13.8 | 6.3 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | J-7 | 4.7 | 13.8 | 6.3 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | J-8 | 4.7 | 13.8 | 6.3 | 0 |

| Design Event | Element | Required Minimum Pressure (bars) | Required Maximum Pressure (bars) | Simulated Pressure (bars) | Violation (bars) |
|---|---|---|---|---|---|
| حدود الضاغط> 4.7 | J-9 | 4.7 | 13.8 | 6.3 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | J-10 | 4.7 | 13.8 | 6.3 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | J-11 | 4.7 | 13.8 | 6.3 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | J-12 | 4.7 | 13.8 | 6.4 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | J-13 | 4.7 | 13.8 | 6.5 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | J-14 | 4.7 | 13.8 | 6.3 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | J-15 | 4.7 | 13.8 | 6.4 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | J-16 | 4.7 | 13.8 | 6.5 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | J-17 | 4.7 | 13.8 | 6.4 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | J-18 | 4.7 | 13.8 | 6.5 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | J-19 | 4.7 | 13.8 | 6.5 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | J-20 | 4.7 | 13.8 | 6.4 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | J-21 | 4.7 | 13.8 | 6.5 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | J-22 | 4.7 | 13.8 | 6.4 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | J-23 | 4.7 | 13.8 | 6.4 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | J-24 | 4.7 | 13.8 | 6.3 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | J-25 | 4.7 | 13.8 | 6.2 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | J-26 | 4.7 | 13.8 | 6.4 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | J-27 | 4.7 | 13.8 | 6.4 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | J-28 | 4.7 | 13.8 | 6.5 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | J-29 | 4.7 | 13.8 | 6.4 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | J-30 | 4.7 | 13.8 | 6.1 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | J-31 | 4.7 | 13.8 | 6.1 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | J-32 | 4.7 | 13.8 | 6.1 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | J-33 | 4.7 | 13.8 | 6.4 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | J-34 | 4.7 | 13.8 | 6.2 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | J-35 | 4.7 | 13.8 | 6.4 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | J-36 | 4.7 | 13.8 | 6.5 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | J-37 | 4.7 | 13.8 | 6.4 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | J-38 | 4.7 | 13.8 | 6.4 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | J-39 | 4.7 | 13.8 | 6.5 | 0 |

| Design Event | Element | Required Minimum Pressure (bars) | Required Maximum Pressure (bars) | Simulated Pressure (bars) | Violation (bars) |
|---|---|---|---|---|---|
| حدود الضاغط> 4.7 | J-40 | 4.7 | 13.8 | 6.5 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | J-41 | 4.7 | 13.8 | 6.4 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | J-42 | 4.7 | 13.8 | 6.4 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | J-43 | 4.7 | 13.8 | 6.3 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | J-44 | 4.7 | 13.8 | 6.3 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | J-45 | 4.7 | 13.8 | 6.2 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | J-46 | 4.7 | 13.8 | 6 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | J-47 | 4.7 | 13.8 | 6.3 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | J-48 | 4.7 | 13.8 | 6.3 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | J-49 | 4.7 | 13.8 | 6.2 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | J-50 | 4.7 | 13.8 | 6.2 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | J-51 | 4.7 | 13.8 | 6.2 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | J-52 | 4.7 | 13.8 | 6.2 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | J-53 | 4.7 | 13.8 | 6.2 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | J-54 | 4.7 | 13.8 | 6.2 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | J-55 | 4.7 | 13.8 | 6.4 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | J-56 | 4.7 | 13.8 | 6.4 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | J-57 | 4.7 | 13.8 | 6.5 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | J-58 | 4.7 | 13.8 | 6.5 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | J-59 | 4.7 | 13.8 | 6.5 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | J-60 | 4.7 | 13.8 | 6.5 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | J-61 | 4.7 | 13.8 | 6.3 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | J-62 | 4.7 | 13.8 | 6.3 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | J-63 | 4.7 | 13.8 | 6.4 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | J-64 | 4.7 | 13.8 | 6.3 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | J-65 | 4.7 | 13.8 | 6.3 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | J-66 | 4.7 | 13.8 | 7 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | J-67 | 4.7 | 13.8 | 7 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | J-68 | 4.7 | 13.8 | 6.9 | 0 |

الجدول (3-3-4): نتائج السرعة للحل الأمثل لتحويل الشبكة الحالية إلى الوضع الحلقي

| Design Event | Element | Minimum Velocity (m/s) | Maximum Velocity (m/s) | Simulated Velocity (m/s) | Violation (m/s) |
|---|---|---|---|---|---|
| حدود الضاغط> 4.7 | P-2 | 0.5 | 2 | 0.95 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-5 | 0.5 | 2 | 0.56 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-7 | 0.5 | 2 | 0.45 | 0.05 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-10 | 0.5 | 2 | 0.35 | 0.15 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-11 | 0.5 | 2 | 0.24 | 0.26 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-16 | 0.5 | 2 | 0.24 | 0.26 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-22 | 0.5 | 1.2 | 0.21 | 0.29 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-23 | 0.5 | 1.2 | 0.13 | 0.37 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-26 | 0.5 | 1.2 | 0.23 | 0.27 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-29 | 0.5 | 1.2 | 0.7 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-30 | 0.5 | 1.2 | 0.3 | 0.2 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-32 | 0.5 | 1.2 | 0.08 | 0.42 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-33 | 0.5 | 1.2 | 0.3 | 0.2 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-35 | 0.5 | 1.2 | 0.2 | 0.3 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-36 | 0.5 | 1.2 | 0.38 | 0.12 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-37 | 0.5 | 1.2 | 0.06 | 0.44 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-38 | 0.5 | 1.2 | 0.11 | 0.39 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-40 | 0.5 | 1.2 | 0.11 | 0.39 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-41 | 0.5 | 1.2 | 0.14 | 0.36 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-43 | 0.5 | 1.2 | 0.03 | 0.47 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-46 | 0.5 | 1.2 | 0.07 | 0.43 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-47 | 0.5 | 1.2 | 0.52 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-48 | 0.5 | 1.2 | 0.21 | 0.29 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-50 | 0.5 | 1.2 | 0.04 | 0.46 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-53 | 0.5 | 1.2 | 0.06 | 0.44 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-56 | 0.5 | 1.2 | 0.11 | 0.39 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-57 | 0.5 | 1.2 | 0.26 | 0.24 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-58 | 0.5 | 1.2 | 0.18 | 0.32 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-59 | 0.5 | 1.2 | 0.11 | 0.39 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-60 | 0.5 | 1.2 | 0.06 | 0.44 |

| Design Event | Element | Minimum Velocity (m/s) | Maximum Velocity (m/s) | Simulated Velocity (m/s) | Violation (m/s) |
|---|---|---|---|---|---|
| حدود الضاغط> 4.7 | P-61 | 0.5 | 1.2 | 0.01 | 0.49 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-63 | 0.5 | 1.2 | 0.04 | 0.46 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-64 | 0.5 | 1.2 | 0.03 | 0.47 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-65 | 0.5 | 1.2 | 0.12 | 0.38 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-66 | 0.5 | 1.2 | 0.02 | 0.48 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-54 | 0.5 | 1.2 | 0.1 | 0.4 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-3 | 0.5 | 2 | 0.57 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-4 | 0.5 | 2 | 0.56 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-55 | 0.5 | 1.2 | 0.25 | 0.25 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-52 | 0.5 | 1.2 | 0.08 | 0.42 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-51 | 0.5 | 1.2 | 0.02 | 0.48 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-6 | 0.5 | 2 | 0.51 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-49 | 0.5 | 1.2 | 0.41 | 0.09 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-8 | 0.5 | 2 | 0.43 | 0.07 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-9 | 0.5 | 2 | 0.41 | 0.09 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-45 | 0.5 | 1.2 | 0.28 | 0.22 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-12 | 0.5 | 2 | 0.13 | 0.37 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-39 | 0.5 | 1.2 | 0.22 | 0.28 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-17 | 0.5 | 2 | 0.04 | 0.46 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-42 | 0.5 | 1.2 | 0.07 | 0.43 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-18 | 0.5 | 1.2 | 0.02 | 0.48 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-24 | 0.5 | 1.2 | 0.11 | 0.39 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-19 | 0.5 | 1.2 | 0.08 | 0.42 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-20 | 0.5 | 1.2 | 0.21 | 0.29 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-21 | 0.5 | 1.2 | 0.27 | 0.23 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-25 | 0.5 | 1.2 | 0.14 | 0.36 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-27 | 0.5 | 1.2 | 0.28 | 0.22 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-28 | 0.5 | 1.2 | 0.3 | 0.2 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-31 | 0.5 | 1.2 | 0.48 | 0.02 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-34 | 0.5 | 1.2 | 0.29 | 0.21 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-13 | 0.5 | 2 | 0.37 | 0.13 |

| Design Event | Element | Minimum Velocity (m/s) | Maximum Velocity (m/s) | Simulated Velocity (m/s) | Violation (m/s) |
|---|---|---|---|---|---|
| حدود الضاغط> 4.7 | P-67 | 0.5 | 1.2 | 0.08 | 0.42 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-68 | 0.5 | 1.2 | 0.02 | 0.48 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-62 | 0.5 | 1.2 | 0.06 | 0.44 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-69 | 0.5 | 1.2 | 0.8 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-70 | 0.5 | 1.2 | 0.1 | 0.4 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-71 | 0.5 | 1.2 | 0.21 | 0.29 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-72 | 0.5 | 1.2 | 0.13 | 0.37 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-73 | 0.5 | 1.2 | 1.12 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-74 | 0.5 | 1.2 | 0.32 | 0.18 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-75 | 0.5 | 1.2 | 0.26 | 0.24 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-76 | 0.5 | 1.2 | 0.81 | 0 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-77 | 0.5 | 1.2 | 0.39 | 0.11 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-78 | 0.5 | 1.2 | 0.36 | 0.14 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-79 | 0.5 | 1.2 | 0.32 | 0.18 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-80 | 0.5 | 1.2 | 0.32 | 0.18 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-81 | 0.5 | 1.2 | 0.09 | 0.41 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-82 | 0.5 | 1.2 | 0.26 | 0.24 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-83 | 0.5 | 1.2 | 0.09 | 0.41 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-84 | 0.5 | 1.2 | 0.26 | 0.24 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-85 | 0.5 | 1.2 | 0.09 | 0.41 |
| حدود الضاغط> 4.7 | P-1 | 0.5 | 2 | 1.02 | 0 |

جدول (1-4-4): الكلفة المثلى لتنفيذ عملية فصل الشبكة الحالية عن منطقة التوسع

| Design Group | Pipe | Material | Hazen-Williams C | Diameter (mm) | Cost (S.P) |
|---|---|---|---|---|---|
| Design Group - P-1 | P-1 | Cast iron | 130 | 250 | 5370 |
| Design Group - P-2 | P-2 | Cast iron | 130 | 250 | 508539 |
| Design Group - P-3 | P-3 | cast iron | 130 | 80 | 137706 |
| Design Group - P-4 | P-4 | cast iron | 130 | 80 | 184257 |
| Design Group - P-6 | P-6 | cast iron | 130 | 80 | 187620 |

| Design Group | Pipe | Material | Hazen-Williams C | Diameter (mm) | Cost (S.P) |
|---|---|---|---|---|---|
| Design Group - P-7 | P-7 | cast iron | 130 | 80 | 68322 |
| Design Group - P-8 | P-8 | cast iron | 130 | 80 | 395595 |
| Design Group - P-9 | P-9 | cast iron | 130 | 80 | 476307 |
| Design Group - P-10 | P-10 | cast iron | 130 | 80 | 131511 |
| Design Group - P-11 | P-11 | cast iron | 130 | 80 | 146202 |
| Design Group - P-12 | P-12 | cast iron | 130 | 80 | 200895 |
| Design Group - P-81 | P-81 | cast iron | 130 | 80 | 230100 |
| Design Group - P-29 | P-29 | cast iron | 130 | 80 | 46905 |
| Design Group - P-32 | P-32 | cast iron | 130 | 80 | 58941 |
| Design Group - P-85 | P-85 | cast iron | 130 | 80 | 247800 |
| Design Group - P-80 | P-80 | cast iron | 130 | 80 | 283200 |
| Design Group - P-79 | P-79 | cast iron | 130 | 80 | 283200 |
| Design Group - P-57 | P-57 | cast iron | 130 | 80 | 357540 |
| Design Group - P-13 | P-13 | cast iron | 130 | 200 | 791406.9 |
| Design Group - P-74 | P-74 | cast iron | 130 | 200 | 542443.3 |
| Design Group - P-71 | P-71 | cast iron | 130 | 80 | 121674.1 |
| Design Group - P-72 | P-72 | cast iron | 130 | 80 | 187013.9 |
| Design Group - P-69 | P-69 | cast iron | 130 | 125 | 72250 |
| Design Group - P-70 | P-70 | cast iron | 130 | 125 | 80920 |
| Design Group - P-73 | P-73 | cast iron | 130 | 100 | 30300 |
| Design Group - P-75 | P-75 | cast iron | 130 | 125 | 58294.5 |
| Design Group - P-76 | P-76 | cast iron | 130 | 100 | 24240 |
| Design Group - P-84 | P-84 | cast iron | 130 | 80 | 26550 |

الجدول (2-4-4): نتائج الضاغط في العقد للحل الأمثل لفصل الشبكة الحالية عن منطقة التوسع

| Design Event | Element | Required Minimum Pressure (bars) | Required Maximum Pressure (bars) | Simulated Pressure (bars) | Violation (bars) |
|---|---|---|---|---|---|
| منطقة التوسع | J-2 | 4.7 | 13.8 | 6.3 | 0 |
| منطقة التوسع | J-3 | 4.7 | 13.8 | 6.2 | 0 |
| منطقة التوسع | J-4 | 4.7 | 13.8 | 6.1 | 0 |
| منطقة التوسع | J-5 | 4.7 | 13.8 | 5.8 | 0 |
| منطقة التوسع | J-6 | 4.7 | 13.8 | 5.8 | 0 |
| منطقة التوسع | J-7 | 4.7 | 13.8 | 5.7 | 0 |
| منطقة التوسع | J-8 | 4.7 | 13.8 | 5.7 | 0 |
| منطقة التوسع | J-9 | 4.7 | 13.8 | 5.4 | 0 |
| منطقة التوسع | J-10 | 4.7 | 13.8 | 5.1 | 0 |
| منطقة التوسع | J-11 | 4.7 | 13.8 | 5.1 | 0 |
| منطقة التوسع | J-12 | 4.7 | 13.8 | 5.3 | 0 |
| منطقة التوسع | J-13 | 4.7 | 13.8 | 5.4 | 0 |
| منطقة التوسع | J-14 | 4.7 | 13.8 | 6.1 | 0 |
| منطقة التوسع | J-15 | 4.7 | 13.8 | 6.1 | 0 |
| منطقة التوسع | J-16 | 4.7 | 13.8 | 5.9 | 0 |
| منطقة التوسع | J-17 | 4.7 | 13.8 | 6 | 0 |
| منطقة التوسع | J-18 | 4.7 | 13.8 | 5.4 | 0 |
| منطقة التوسع | J-19 | 4.7 | 13.8 | 5.5 | 0 |
| منطقة التوسع | J-20 | 4.7 | 13.8 | 5.5 | 0 |
| منطقة التوسع | J-21 | 4.7 | 13.8 | 5.7 | 0 |
| منطقة التوسع | J-22 | 4.7 | 13.8 | 5.8 | 0 |
| منطقة التوسع | J-23 | 4.7 | 13.8 | 5.3 | 0 |
| منطقة التوسع | J-24 | 4.7 | 13.8 | 5.3 | 0 |
| منطقة التوسع | J-25 | 4.7 | 13.8 | 5.3 | 0 |
| منطقة التوسع | J-26 | 4.7 | 13.8 | 5.5 | 0 |
| منطقة التوسع | J-27 | 4.7 | 13.8 | 5.6 | 0 |
| منطقة التوسع | J-28 | 4.7 | 13.8 | 5.8 | 0 |
| منطقة التوسع | J-29 | 4.7 | 13.8 | 5.7 | 0 |
| منطقة التوسع | J-30 | 4.7 | 13.8 | 5.1 | 0 |

| Design Event | Element | Required Minimum Pressure (bars) | Required Maximum Pressure (bars) | Simulated Pressure (bars) | Violation (bars) |
|---|---|---|---|---|---|
| منطقة التوسع | J-31 | 4.7 | 13.8 | 5.1 | 0 |
| منطقة التوسع | J-32 | 4.7 | 13.8 | 5.1 | 0 |
| منطقة التوسع | J-33 | 4.7 | 13.8 | 5.7 | 0 |
| منطقة التوسع | J-34 | 4.7 | 13.8 | 5.5 | 0 |
| منطقة التوسع | J-35 | 4.7 | 13.8 | 5.8 | 0 |
| منطقة التوسع | J-36 | 4.7 | 13.8 | 6.2 | 0 |
| منطقة التوسع | J-37 | 4.7 | 13.8 | 5.4 | 0 |
| منطقة التوسع | J-38 | 4.7 | 13.8 | 5.3 | 0 |
| منطقة التوسع | J-39 | 4.7 | 13.8 | 5.4 | 0 |
| منطقة التوسع | J-40 | 4.7 | 13.8 | 5.4 | 0 |
| منطقة التوسع | J-41 | 4.7 | 13.8 | 5.3 | 0 |
| منطقة التوسع | J-42 | 4.7 | 13.8 | 5.3 | 0 |
| منطقة التوسع | J-43 | 4.7 | 13.8 | 5.2 | 0 |
| منطقة التوسع | J-44 | 4.7 | 13.8 | 5.2 | 0 |
| منطقة التوسع | J-45 | 4.7 | 13.8 | 5 | 0 |
| منطقة التوسع | J-46 | 4.7 | 13.8 | 4.9 | 0 |
| منطقة التوسع | J-47 | 4.7 | 13.8 | 5.6 | 0 |
| منطقة التوسع | J-48 | 4.7 | 13.8 | 5.6 | 0 |
| منطقة التوسع | J-49 | 4.7 | 13.8 | 5.6 | 0 |
| منطقة التوسع | J-50 | 4.7 | 13.8 | 5.6 | 0 |
| منطقة التوسع | J-51 | 4.7 | 13.8 | 5.7 | 0 |
| منطقة التوسع | J-52 | 4.7 | 13.8 | 6 | 0 |
| منطقة التوسع | J-53 | 4.7 | 13.8 | 5.7 | 0 |
| منطقة التوسع | J-54 | 4.7 | 13.8 | 5.7 | 0 |
| منطقة التوسع | J-55 | 4.7 | 13.8 | 6.3 | 0 |
| منطقة التوسع | J-56 | 4.7 | 13.8 | 6 | 0 |
| منطقة التوسع | J-57 | 4.7 | 13.8 | 6 | 0 |
| منطقة التوسع | J-58 | 4.7 | 13.8 | 6 | 0 |
| منطقة التوسع | J-59 | 4.7 | 13.8 | 6 | 0 |
| منطقة التوسع | J-60 | 4.7 | 13.8 | 6.1 | 0 |
| منطقة التوسع | J-61 | 4.7 | 13.8 | 6 | 0 |

| Design Event | Element | Required Minimum Pressure (bars) | Required Maximum Pressure (bars) | Simulated Pressure (bars) | Violation (bars) |
|---|---|---|---|---|---|
| منطقة التوسع | J-62 | 4.7 | 13.8 | 6 | 0 |
| منطقة التوسع | J-63 | 4.7 | 13.8 | 6.1 | 0 |
| منطقة التوسع | J-64 | 4.7 | 13.8 | 6 | 0 |
| منطقة التوسع | J-65 | 4.7 | 13.8 | 6 | 0 |
| منطقة التوسع | J-66 | 4.7 | 13.8 | 6.4 | 0 |
| منطقة التوسع | J-67 | 4.7 | 13.8 | 6.7 | 0 |
| منطقة التوسع | J-68 | 4.7 | 13.8 | 5.8 | 0 |

الجدول (3-4-4): نتائج السرعة لعملية الحل الأمثل لفصل الشبكة الحالية عن منطقة التوسع.

| Design Event | Element | Minimum Velocity (m/s) | Maximum Velocity (m/s) | Simulated Velocity (m/s) | Violation (m/s) |
|---|---|---|---|---|---|
| منطقة التوسع | P-2 | 0.5 | 1.2 | 1.19 | 0 |
| منطقة التوسع | P-5 | 0.5 | 1.2 | 0.09 | 0.41 |
| منطقة التوسع | P-7 | 0.5 | 1.2 | 0.47 | 0.03 |
| منطقة التوسع | P-10 | 0.5 | 1.2 | 0.12 | 0.38 |
| منطقة التوسع | P-11 | 0.5 | 1.2 | 0.59 | 0 |
| منطقة التوسع | P-16 | 0.5 | 1.2 | 0.89 | 0 |
| منطقة التوسع | P-22 | 0.5 | 1.2 | 0.57 | 0 |
| منطقة التوسع | P-23 | 0.5 | 1.2 | 0.66 | 0 |
| منطقة التوسع | P-26 | 0.5 | 1.2 | 1 | 0 |
| منطقة التوسع | P-29 | 0.5 | 1.2 | 0.08 | 0.42 |
| منطقة التوسع | P-30 | 0.5 | 1.2 | 0.48 | 0.02 |
| منطقة التوسع | P-32 | 0.5 | 1.2 | 0.65 | 0 |
| منطقة التوسع | P-33 | 0.5 | 1.2 | 1.03 | 0 |
| منطقة التوسع | P-35 | 0.5 | 1.2 | 0.55 | 0 |
| منطقة التوسع | P-36 | 0.5 | 1.2 | 1.38 | 0.18 |
| منطقة التوسع | P-37 | 0.5 | 1.2 | 0.71 | 0 |
| منطقة التوسع | P-38 | 0.5 | 1.2 | 0.8 | 0 |

| Design Event | Element | Minimum Velocity (m/s) | Maximum Velocity (m/s) | Simulated Velocity (m/s) | Violation (m/s) |
|---|---|---|---|---|---|
| منطقة التوسع | P-40 | 0.5 | 1.2 | 0.11 | 0.39 |
| منطقة التوسع | P-41 | 0.5 | 1.2 | 0.14 | 0.36 |
| منطقة التوسع | P-43 | 0.5 | 1.2 | 0.03 | 0.47 |
| منطقة التوسع | P-46 | 0.5 | 1.2 | 0.12 | 0.38 |
| منطقة التوسع | P-47 | 0.5 | 1.2 | 0.52 | 0 |
| منطقة التوسع | P-48 | 0.5 | 1.2 | 0.21 | 0.29 |
| منطقة التوسع | P-50 | 0.5 | 1.2 | 0.04 | 0.46 |
| منطقة التوسع | P-53 | 0.5 | 1.2 | 0.06 | 0.44 |
| منطقة التوسع | P-56 | 0.5 | 1.2 | 0.55 | 0 |
| منطقة التوسع | P-57 | 0.5 | 1.2 | 0.94 | 0 |
| منطقة التوسع | P-58 | 0.5 | 1.2 | 0.69 | 0 |
| منطقة التوسع | P-59 | 0.5 | 1.2 | 1.21 | 0.01 |
| منطقة التوسع | P-60 | 0.5 | 1.2 | 1.15 | 0 |
| منطقة التوسع | P-61 | 0.5 | 1.2 | 1.08 | 0 |
| منطقة التوسع | P-63 | 0.5 | 1.2 | 0.04 | 0.46 |
| منطقة التوسع | P-64 | 0.5 | 1.2 | 0.61 | 0 |
| منطقة التوسع | P-65 | 0.5 | 1.2 | 0.12 | 0.38 |
| منطقة التوسع | P-66 | 0.5 | 1.2 | 0.02 | 0.48 |
| منطقة التوسع | P-54 | 0.5 | 1.2 | 0.1 | 0.4 |
| منطقة التوسع | P-3 | 0.5 | 1.2 | 1.48 | 0.28 |
| منطقة التوسع | P-4 | 0.5 | 1.2 | 1.33 | 0.13 |
| منطقة التوسع | P-55 | 0.5 | 1.2 | 0.14 | 0.36 |
| منطقة التوسع | P-52 | 0.5 | 1.2 | 0.08 | 0.42 |
| منطقة التوسع | P-51 | 0.5 | 1.2 | 0.49 | 0.01 |
| منطقة التوسع | P-6 | 0.5 | 1.2 | 0.78 | 0 |
| منطقة التوسع | P-49 | 0.5 | 1.2 | 0.65 | 0 |
| منطقة التوسع | P-8 | 0.5 | 1.2 | 0.97 | 0 |
| منطقة التوسع | P-9 | 0.5 | 1.2 | 0.71 | 0 |
| منطقة التوسع | P-45 | 0.5 | 1.2 | 0.1 | 0.4 |
| منطقة التوسع | P-12 | 0.5 | 1.2 | 0.39 | 0.11 |
| منطقة التوسع | P-39 | 0.5 | 1.2 | 0.2 | 0.3 |

| Design Event | Element | Minimum Velocity (m/s) | Maximum Velocity (m/s) | Simulated Velocity (m/s) | Violation (m/s) |
|---|---|---|---|---|---|
| منطقة التوسع | P-17 | 0.5 | 1.2 | 0.57 | 0 |
| منطقة التوسع | P-42 | 0.5 | 1.2 | 0.07 | 0.43 |
| منطقة التوسع | P-18 | 0.5 | 1.2 | 0.63 | 0 |
| منطقة التوسع | P-24 | 0.5 | 1.2 | 0.91 | 0 |
| منطقة التوسع | P-19 | 0.5 | 1.2 | 0.68 | 0 |
| منطقة التوسع | P-20 | 0.5 | 1.2 | 0.85 | 0 |
| منطقة التوسع | P-21 | 0.5 | 1.2 | 0.91 | 0 |
| منطقة التوسع | P-25 | 0.5 | 1.2 | 0.92 | 0 |
| منطقة التوسع | P-27 | 0.5 | 1.2 | 0.86 | 0 |
| منطقة التوسع | P-28 | 0.5 | 1.2 | 0.59 | 0 |
| منطقة التوسع | P-31 | 0.5 | 1.2 | 0.52 | 0 |
| منطقة التوسع | P-34 | 0.5 | 1.2 | 0.65 | 0 |
| منطقة التوسع | P-13 | 0.5 | 1.2 | 1.61 | 0.41 |
| منطقة التوسع | P-67 | 0.5 | 1.2 | 0.08 | 0.42 |
| منطقة التوسع | P-68 | 0.5 | 1.2 | 0.02 | 0.48 |
| منطقة التوسع | P-62 | 0.5 | 1.2 | 0.06 | 0.44 |
| منطقة التوسع | P-69 | 0.5 | 1.2 | 0.97 | 0 |
| منطقة التوسع | P-70 | 0.5 | 1.2 | 1.51 | 0.31 |
| منطقة التوسع | P-71 | 0.5 | 1.2 | 1.67 | 0.47 |
| منطقة التوسع | P-72 | 0.5 | 1.2 | 0.47 | 0.03 |
| منطقة التوسع | P-73 | 0.5 | 1.2 | 1.37 | 0.17 |
| منطقة التوسع | P-74 | 0.5 | 1.2 | 1.03 | 0 |
| منطقة التوسع | P-75 | 0.5 | 1.2 | 1.66 | 0.46 |
| منطقة التوسع | P-76 | 0.5 | 1.2 | 1.51 | 0.31 |
| منطقة التوسع | P-77 | 0.5 | 1.2 | 1.69 | 0.49 |
| منطقة التوسع | P-78 | 0.5 | 1.2 | 1.38 | 0.18 |
| منطقة التوسع | P-79 | 0.5 | 1.2 | 0.83 | 0 |
| منطقة التوسع | P-80 | 0.5 | 1.2 | 0.7 | 0 |
| منطقة التوسع | P-81 | 0.5 | 1.2 | 0.06 | 0.44 |
| منطقة التوسع | P-82 | 0.5 | 1.2 | 0.47 | 0.03 |
| منطقة التوسع | P-83 | 0.5 | 1.2 | 0.12 | 0.38 |

| Design Event | Element | Minimum Velocity (m/s) | Maximum Velocity (m/s) | Simulated Velocity (m/s) | Violation (m/s) |
|---|---|---|---|---|---|
| منطقة التوسع | P-84 | 0.5 | 1.2 | 0.55 | 0 |
| منطقة التوسع | P-85 | 0.5 | 1.2 | 0.17 | 0.33 |
| منطقة التوسع | P-1 | 0.5 | 1.2 | 1.47 | 0.27 |

جدول (1-5-4): يبين كلفة الحل الأمثل تبعا لأقطار الأنابيب لكامل الشبكة

| Design Group | Pipe | Material | Hazen-Williams C | Diameter (mm) | Cost (S.P) |
|---|---|---|---|---|---|
| Design Group - P-1 | P-1 | Cast iron | 130 | 300 | 6600 |
| Design Group - P-2 | P-2 | Cast iron | 130 | 300 | 625020 |
| Design Group - P-3 | P-3 | Cast iron | 130 | 250 | 417786 |
| Design Group - P-4 | P-4 | Cast iron | 130 | 300 | 687060 |
| Design Group - P-5 | P-5 | Cast iron | 130 | 125 | 57800 |
| Design Group - P-6 | P-6 | Cast iron | 130 | 125 | 306340 |
| Design Group - P-7 | P-7 | Cast iron | 130 | 150 | 125450 |
| Design Group - P-8 | P-8 | Cast iron | 130 | 300 | 1475100 |
| Design Group - P-9 | P-9 | Cast iron | 130 | 80 | 476307 |
| Design Group - P-10 | P-10 | Cast iron | 130 | 125 | 214727 |
| Design Group - P-11 | P-11 | Cast iron | 130 | 200 | 360962 |
| Design Group - P-12 | P-12 | Cast iron | 130 | 80 | 200895 |
| Design Group - P-13 | P-13 | Cast iron | 130 | 200 | 791406.9 |
| Design Group - P-16 | P-16 | Cast iron | 130 | 80 | 45135 |
| Design Group - P-17 | P-17 | Cast iron | 130 | 80 | 137706 |
| Design Group - P-18 | P-18 | Cast iron | 130 | 125 | 801397 |
| Design Group - P-19 | P-19 | Cast iron | 130 | 80 | 294705 |
| Design Group - P-20 | P-20 | Cast iron | 130 | 100 | 470256 |
| Design Group - P-21 | P-21 | Cast iron | 130 | 80 | 390816 |
| Design Group - P-22 | P-22 | Cast iron | 130 | 300 | 366300 |
| Design Group - P-23 | P-23 | Cast iron | 130 | 150 | 409500 |
| Design Group - P-24 | P-24 | Cast iron | 130 | 125 | 511530 |
| Design Group - P-25 | P-25 | Cast iron | 130 | 150 | 336375 |
| Design Group - P-26 | P-26 | Cast iron | 130 | 125 | 341020 |
| Design Group - P-27 | P-27 | Cast iron | 130 | 150 | 564850 |
| Design Group - P-28 | P-28 | Cast iron | 130 | 100 | 269872 |
| Design Group - P-29 | P-29 | Cast iron | 130 | 100 | 53530 |
| Design Group - P-30 | P-30 | Cast iron | 130 | 80 | 262668 |
| Design Group - P-31 | P-31 | Cast iron | 130 | 125 | 286688 |
| Design Group - P-32 | P-32 | Cast iron | 130 | 200 | 145521 |
| Design Group - P-33 | P-33 | Cast iron | 130 | 250 | 850608.1 |
| Design Group - P-34 | P-34 | Cast iron | 130 | 150 | 535274.9 |
| Design Group - P-35 | P-35 | Cast iron | 130 | 125 | 502282 |
| Design Group - P-36 | P-36 | Cast iron | 130 | 300 | 931920.1 |
| Design Group - P-37 | P-37 | Cast iron | 130 | 80 | 155760 |
| Design Group - P-38 | P-38 | Cast iron | 130 | 80 | 148680 |

| Design Group | Pipe | Material | Hazen-Williams C | Diameter (mm) | Cost (S.P) |
|---|---|---|---|---|---|
| Design Group - P-39 | P-39 | Cast iron | 130 | 100 | 404000 |
| Design Group - P-40 | P-40 | Cast iron | 130 | 80 | 311520 |
| Design Group - P-41 | P-41 | Cast iron | 130 | 150 | 206375 |
| Design Group - P-42 | P-42 | Cast iron | 130 | 100 | 321180 |
| Design Group - P-43 | P-43 | Cast iron | 130 | 80 | 165672 |
| Design Group - P-45 | P-45 | Cast iron | 130 | 125 | 420784 |
| Design Group - P-46 | P-46 | Cast iron | 130 | 150 | 253500 |
| Design Group - P-47 | P-47 | Cast iron | 130 | 80 | 37170 |
| Design Group - P-48 | P-48 | Cast iron | 130 | 100 | 326230 |
| Design Group - P-49 | P-49 | Cast iron | 130 | 250 | 646548 |
| Design Group - P-50 | P-50 | Cast iron | 130 | 150 | 121550 |
| Design Group - P-51 | P-51 | Cast iron | 130 | 250 | 865107.1 |
| Design Group - P-52 | P-52 | Cast iron | 130 | 100 | 276942 |
| Design Group - P-53 | P-53 | Cast iron | 130 | 150 | 250900 |
| Design Group - P-54 | P-54 | Cast iron | 130 | 80 | 125670 |
| Design Group - P-55 | P-55 | Cast iron | 130 | 80 | 251694 |
| Design Group - P-56 | P-56 | Cast iron | 130 | 125 | 135541 |
| Design Group - P-57 | P-57 | Cast iron | 130 | 125 | 583780 |
| Design Group - P-58 | P-58 | Cast iron | 130 | 250 | 1309743 |
| Design Group - P-59 | P-59 | Cast iron | 130 | 80 | 52038 |
| Design Group - P-60 | P-60 | Cast iron | 130 | 80 | 199302 |
| Design Group - P-61 | P-61 | Cast iron | 130 | 150 | 82875 |
| Design Group - P-62 | P-62 | Cast iron | 130 | 150 | 192725 |
| Design Group - P-63 | P-63 | Cast iron | 130 | 80 | 173814 |
| Design Group - P-64 | P-64 | Cast iron | 130 | 80 | 286740 |
| Design Group - P-65 | P-65 | Cast iron | 130 | 125 | 202300 |
| Design Group - P-66 | P-66 | Cast iron | 130 | 300 | 427680 |
| Design Group - P-67 | P-67 | Cast iron | 130 | 300 | 468600 |
| Design Group - P-68 | P-68 | Cast iron | 130 | 150 | 422825 |
| Design Group - P-69 | P-69 | Cast iron | 130 | 300 | 165000 |
| Design Group - P-70 | P-70 | Cast iron | 130 | 200 | 122360 |
| Design Group - P-71 | P-71 | Cast iron | 130 | 125 | 198665.6 |
| Design Group - P-72 | P-72 | Cast iron | 130 | 100 | 213428.3 |
| Design Group - P-73 | P-73 | Cast iron | 130 | 80 | 26550 |
| Design Group - P-74 | P-74 | Cast iron | 130 | 250 | 666572.2 |
| Design Group - P-75 | P-75 | Cast iron | 130 | 150 | 65556.1 |
| Design Group - P-76 | P-76 | Cast iron | 130 | 250 | 64440 |
| Design Group - P-77 | P-77 | Cast iron | 130 | 200 | 122360 |
| Design Group - P-78 | P-78 | Cast iron | 130 | 200 | 1092500 |
| Design Group - P-79 | P-79 | Cast iron | 130 | 250 | 859200 |
| Design Group - P-80 | P-80 | Cast iron | 130 | 150 | 520000 |
| Design Group - P-81 | P-81 | Cast iron | 130 | 80 | 230100 |
| Design Group - P-82 | P-82 | Cast iron | 130 | 80 | 247140 |
| Design Group - P-83 | P-83 | Cast iron | 130 | 125 | 139797.7 |
| Design Group - P-84 | P-84 | Cast iron | 130 | 80 | 26550 |
| Design Group - P-85 | P-85 | Cast iron | 130 | 80 | 247800 |

جدول (2-5-4): حدود الضاغط للحل الأمثل لكامل الشبكة

| Design Event | Element | Required Minimum Pressure (bars) | Required Maximum Pressure (bars) | Simulated Pressure (bars) | Violation (bars) |
|---|---|---|---|---|---|
| كامل الشبكة | J-2 | 4.7 | 13.8 | 6.3 | 0 |
| كامل الشبكة | J-3 | 4.7 | 13.8 | 6.2 | 0 |
| كامل الشبكة | J-4 | 4.7 | 13.8 | 6.3 | 0 |
| كامل الشبكة | J-5 | 4.7 | 13.8 | 6.3 | 0 |
| كامل الشبكة | J-6 | 4.7 | 13.8 | 6.2 | 0 |
| كامل الشبكة | J-7 | 4.7 | 13.8 | 5.9 | 0 |
| كامل الشبكة | J-8 | 4.7 | 13.8 | 5.8 | 0 |
| كامل الشبكة | J-9 | 4.7 | 13.8 | 5.8 | 0 |
| كامل الشبكة | J-10 | 4.7 | 13.8 | 5.4 | 0 |
| كامل الشبكة | J-11 | 4.7 | 13.8 | 5.4 | 0 |
| كامل الشبكة | J-12 | 4.7 | 13.8 | 5.5 | 0 |
| كامل الشبكة | J-13 | 4.7 | 13.8 | 5.5 | 0 |
| كامل الشبكة | J-14 | 4.7 | 13.8 | 6.1 | 0 |
| كامل الشبكة | J-15 | 4.7 | 13.8 | 6.1 | 0 |
| كامل الشبكة | J-16 | 4.7 | 13.8 | 6.1 | 0 |
| كامل الشبكة | J-17 | 4.7 | 13.8 | 6.1 | 0 |
| كامل الشبكة | J-18 | 4.7 | 13.8 | 5.6 | 0 |
| كامل الشبكة | J-19 | 4.7 | 13.8 | 5.6 | 0 |
| كامل الشبكة | J-20 | 4.7 | 13.8 | 5.7 | 0 |
| كامل الشبكة | J-21 | 4.7 | 13.8 | 5.9 | 0 |
| كامل الشبكة | J-22 | 4.7 | 13.8 | 6 | 0 |
| كامل الشبكة | J-23 | 4.7 | 13.8 | 5.5 | 0 |
| كامل الشبكة | J-24 | 4.7 | 13.8 | 5.6 | 0 |
| كامل الشبكة | J-25 | 4.7 | 13.8 | 5.6 | 0 |
| كامل الشبكة | J-26 | 4.7 | 13.8 | 5.8 | 0 |
| كامل الشبكة | J-27 | 4.7 | 13.8 | 5.9 | 0 |
| كامل الشبكة | J-28 | 4.7 | 13.8 | 6.1 | 0 |
| كامل الشبكة | J-29 | 4.7 | 13.8 | 6.1 | 0 |
| كامل الشبكة | J-30 | 4.7 | 13.8 | 5.3 | 0 |
| كامل الشبكة | J-31 | 4.7 | 13.8 | 5.7 | 0 |
| كامل الشبكة | J-32 | 4.7 | 13.8 | 5.7 | 0 |
| كامل الشبكة | J-33 | 4.7 | 13.8 | 6 | 0 |
| كامل الشبكة | J-34 | 4.7 | 13.8 | 5.8 | 0 |

| Design Event | Element | Required Minimum Pressure (bars) | Required Maximum Pressure (bars) | Simulated Pressure (bars) | Violation (bars) |
|---|---|---|---|---|---|
| كامل الشبكة | J-35 | 4.7 | 13.8 | 6.2 | 0 |
| كامل الشبكة | J-36 | 4.7 | 13.8 | 6.3 | 0 |
| كامل الشبكة | J-37 | 4.7 | 13.8 | 5.5 | 0 |
| كامل الشبكة | J-38 | 4.7 | 13.8 | 5.5 | 0 |
| كامل الشبكة | J-39 | 4.7 | 13.8 | 5.6 | 0 |
| كامل الشبكة | J-40 | 4.7 | 13.8 | 5.6 | 0 |
| كامل الشبكة | J-41 | 4.7 | 13.8 | 5.5 | 0 |
| كامل الشبكة | J-42 | 4.7 | 13.8 | 5.6 | 0 |
| كامل الشبكة | J-43 | 4.7 | 13.8 | 5.5 | 0 |
| كامل الشبكة | J-44 | 4.7 | 13.8 | 5.5 | 0 |
| كامل الشبكة | J-45 | 4.7 | 13.8 | 5.2 | 0 |
| كامل الشبكة | J-46 | 4.7 | 13.8 | 5.1 | 0 |
| كامل الشبكة | J-47 | 4.7 | 13.8 | 5.9 | 0 |
| كامل الشبكة | J-48 | 4.7 | 13.8 | 5.9 | 0 |
| كامل الشبكة | J-49 | 4.7 | 13.8 | 5.8 | 0 |
| كامل الشبكة | J-50 | 4.7 | 13.8 | 5.8 | 0 |
| كامل الشبكة | J-51 | 4.7 | 13.8 | 6.2 | 0 |
| كامل الشبكة | J-52 | 4.7 | 13.8 | 6.2 | 0 |
| كامل الشبكة | J-53 | 4.7 | 13.8 | 5.8 | 0 |
| كامل الشبكة | J-54 | 4.7 | 13.8 | 5.9 | 0 |
| كامل الشبكة | J-55 | 4.7 | 13.8 | 6.2 | 0 |
| كامل الشبكة | J-56 | 4.7 | 13.8 | 6.1 | 0 |
| كامل الشبكة | J-57 | 4.7 | 13.8 | 6.1 | 0 |
| كامل الشبكة | J-58 | 4.7 | 13.8 | 6.1 | 0 |
| كامل الشبكة | J-59 | 4.7 | 13.8 | 6.1 | 0 |
| كامل الشبكة | J-60 | 4.7 | 13.8 | 6.2 | 0 |
| كامل الشبكة | J-61 | 4.7 | 13.8 | 6.1 | 0 |
| كامل الشبكة | J-62 | 4.7 | 13.8 | 6.1 | 0 |
| كامل الشبكة | J-63 | 4.7 | 13.8 | 6.2 | 0 |
| كامل الشبكة | J-64 | 4.7 | 13.8 | 6.1 | 0 |
| كامل الشبكة | J-65 | 4.7 | 13.8 | 6.1 | 0 |
| كامل الشبكة | J-66 | 4.7 | 13.8 | 6.7 | 0 |
| كامل الشبكة | J-67 | 4.7 | 13.8 | 6.8 | 0 |
| كامل الشبكة | J-68 | 4.7 | 13.8 | 6.1 | 0 |

جدول (3-5-4): حدود السرعة للحل الأمثل لكامل الشبكة

| Design Event | Element | Minimum Velocity (m/s) | Maximum Velocity (m/s) | Simulated Velocity (m/s) | Violation (m/s) |
|---|---|---|---|---|---|
| كامل الشبكة | P-2 | 0.5 | 2 | 1.16 | 0 |
| كامل الشبكة | P-5 | 0.5 | 2 | 2.5 | 0.5 |
| كامل الشبكة | P-7 | 0.5 | 2 | 0.56 | 0 |
| كامل الشبكة | P-10 | 0.5 | 2 | 0.99 | 0 |
| كامل الشبكة | P-11 | 0.5 | 2 | 0.48 | 0.02 |
| كامل الشبكة | P-16 | 0.5 | 1.2 | 0.6 | 0 |
| كامل الشبكة | P-22 | 0.5 | 1.2 | 0.31 | 0.19 |
| كامل الشبكة | P-23 | 0.5 | 1.2 | 1.33 | 0.13 |
| كامل الشبكة | P-26 | 0.5 | 1.2 | 1.08 | 0 |
| كامل الشبكة | P-29 | 0.5 | 1.2 | 0.52 | 0 |
| كامل الشبكة | P-30 | 0.5 | 1.2 | 1.22 | 0.02 |
| كامل الشبكة | P-32 | 0.5 | 1.2 | 0.85 | 0 |
| كامل الشبكة | P-33 | 0.5 | 1.2 | 0.58 | 0 |
| كامل الشبكة | P-35 | 0.5 | 1.2 | 0.87 | 0 |
| كامل الشبكة | P-36 | 0.5 | 1.2 | 0.25 | 0.25 |
| كامل الشبكة | P-37 | 0.5 | 1.2 | 1.16 | 0 |
| كامل الشبكة | P-38 | 0.5 | 1.2 | 0.88 | 0 |
| كامل الشبكة | P-40 | 0.5 | 1.2 | 0.27 | 0.23 |
| كامل الشبكة | P-41 | 0.5 | 1.2 | 0.04 | 0.46 |
| كامل الشبكة | P-43 | 0.5 | 1.2 | 0.07 | 0.43 |
| كامل الشبكة | P-46 | 0.5 | 1.2 | 0.18 | 0.32 |
| كامل الشبكة | P-47 | 0.5 | 1.2 | 0.52 | 0 |
| كامل الشبكة | P-48 | 0.5 | 1.2 | 0.13 | 0.37 |
| كامل الشبكة | P-50 | 0.5 | 1.2 | 0.02 | 0.48 |
| كامل الشبكة | P-53 | 0.5 | 1.2 | 0.02 | 0.48 |
| كامل الشبكة | P-56 | 0.5 | 1.2 | 0.77 | 0 |
| كامل الشبكة | P-57 | 0.5 | 1.2 | 0.8 | 0 |
| كامل الشبكة | P-58 | 0.5 | 1.2 | 1.08 | 0 |
| كامل الشبكة | P-59 | 0.5 | 1.2 | 0.96 | 0 |
| كامل الشبكة | P-60 | 0.5 | 1.2 | 0.77 | 0 |
| كامل الشبكة | P-61 | 0.5 | 1.2 | 0.15 | 0.35 |

| Design Event | Element | Minimum Velocity (m/s) | Maximum Velocity (m/s) | Simulated Velocity (m/s) | Violation (m/s) |
|---|---|---|---|---|---|
| كامل الشبكة | P-63 | 0.5 | 1.2 | 0.06 | 0.44 |
| كامل الشبكة | P-64 | 0.5 | 1.2 | 0.44 | 0.06 |
| كامل الشبكة | P-65 | 0.5 | 1.2 | 0.17 | 0.33 |
| كامل الشبكة | P-66 | 0.5 | 1.2 | 0.01 | 0.49 |
| كامل الشبكة | P-54 | 0.5 | 1.2 | 0.1 | 0.4 |
| كامل الشبكة | P-3 | 0.5 | 2 | 0.65 | 0 |
| كامل الشبكة | P-4 | 0.5 | 2 | 0.44 | 0.06 |
| كامل الشبكة | P-55 | 0.5 | 1.2 | 1.08 | 0 |
| كامل الشبكة | P-52 | 0.5 | 1.2 | 0.05 | 0.45 |
| كامل الشبكة | P-51 | 0.5 | 1.2 | 1 | 0 |
| كامل الشبكة | P-6 | 0.5 | 2 | 1.96 | 0 |
| كامل الشبكة | P-49 | 0.5 | 1.2 | 0.27 | 0.23 |
| كامل الشبكة | P-8 | 0.5 | 2 | 0.82 | 0 |
| كامل الشبكة | P-9 | 0.5 | 2 | 1.03 | 0 |
| كامل الشبكة | P-45 | 0.5 | 1.2 | 0.4 | 0.1 |
| كامل الشبكة | P-12 | 0.5 | 2 | 0.69 | 0 |
| كامل الشبكة | P-39 | 0.5 | 1.2 | 0 | 0.5 |
| كامل الشبكة | P-17 | 0.5 | 1.2 | 0.59 | 0 |
| كامل الشبكة | P-42 | 0.5 | 1.2 | 0.04 | 0.46 |
| كامل الشبكة | P-18 | 0.5 | 1.2 | 0.3 | 0.2 |
| كامل الشبكة | P-24 | 0.5 | 1.2 | 0.68 | 0 |
| كامل الشبكة | P-19 | 0.5 | 1.2 | 0.87 | 0 |
| كامل الشبكة | P-20 | 0.5 | 1.2 | 0.41 | 0.09 |
| كامل الشبكة | P-21 | 0.5 | 1.2 | 0.78 | 0 |
| كامل الشبكة | P-25 | 0.5 | 1.2 | 0.66 | 0 |
| كامل الشبكة | P-27 | 0.5 | 1.2 | 0.58 | 0 |
| كامل الشبكة | P-28 | 0.5 | 1.2 | 0.67 | 0 |
| كامل الشبكة | P-31 | 0.5 | 1.2 | 1.39 | 0.19 |
| كامل الشبكة | P-34 | 0.5 | 1.2 | 1.06 | 0 |
| كامل الشبكة | P-13 | 0.5 | 2 | 1.59 | 0 |
| كامل الشبكة | P-67 | 0.5 | 1.2 | 0.01 | 0.49 |
| كامل الشبكة | P-68 | 0.5 | 1.2 | 0.01 | 0.49 |
| كامل الشبكة | P-62 | 0.5 | 1.2 | 0.02 | 0.48 |
| كامل الشبكة | P-69 | 0.5 | 1.2 | 0.07 | 0.43 |
| كامل الشبكة | P-70 | 0.5 | 1.2 | 0.06 | 0.44 |

| Design Event | Element | Minimum Velocity (m/s) | Maximum Velocity (m/s) | Simulated Velocity (m/s) | Violation (m/s) |
|---|---|---|---|---|---|
| كامل الشبكة | P-71 | 0.5 | 2 | 1.02 | 0 |
| كامل الشبكة | P-72 | 0.5 | 2 | 0.88 | 0 |
| كامل الشبكة | P-73 | 0.5 | 1.2 | 1.12 | 0 |
| كامل الشبكة | P-74 | 0.5 | 2 | 0.71 | 0 |
| كامل الشبكة | P-75 | 0.5 | 2 | 0.93 | 0 |
| كامل الشبكة | P-76 | 0.5 | 1.2 | 0.38 | 0.12 |
| كامل الشبكة | P-77 | 0.5 | 1.2 | 0.15 | 0.35 |
| كامل الشبكة | P-78 | 0.5 | 1.2 | 1.64 | 0.44 |
| كامل الشبكة | P-79 | 0.5 | 1.2 | 0.28 | 0.22 |
| كامل الشبكة | P-80 | 0.5 | 1.2 | 0.65 | 0 |
| كامل الشبكة | P-81 | 0.5 | 1.2 | 0.44 | 0.06 |
| كامل الشبكة | P-82 | 0.5 | 1.2 | 0.4 | 0.1 |
| كامل الشبكة | P-83 | 0.5 | 1.2 | 0.28 | 0.22 |
| كامل الشبكة | P-84 | 0.5 | 1.2 | 0.27 | 0.23 |
| كامل الشبكة | P-85 | 0.5 | 1.2 | 0.48 | 0.02 |
| كامل الشبكة | P-1 | 0.5 | 2 | 1.93 | 0 |

# قائمة المصطلحات العلميّة باللغتين العربية والإنكليزيّة

| English | عربي |
|---|---|
| Adaptive search methods | الطرق التكيفية للبحث |
| Alternative | خيار |
| Ant Colony search Method | طريقة مستعمرة النمل في البحث |
| Artificial Neural Networks | البرمجة العصبية الصنعية |
| Back Propagation Algorithm | خوارزميات الانتشار الخلفي |
| Binary Encoding | الترميز الثنائي |
| Biological Background | الخلفية البيولوجية |
| Bits | البيتات |
| Branched Network | الشبكة المتفرعة |
| Calibration | المعايرة |
| Constraints | الاشتراطات |
| Chromosomes | السلسلة الجينية (الكروموسوم) |
| Crossover | التصالب |
| Cut probability | نسبة التصالب |
| Darwin Designer | مصمم داروين |
| Decision variables | متغيرات القرار |
| Decoding | فك الترميز |
| Demand | الاحتياج المائي |
| Design Event | حدث تصميمي |
| Design Study | دراسة تصميمية |
| Dynamic Programming | البرمجة الحركية |
| Elitism | النخبة |
| Encoding | الترميز (التشفير) |

| | |
|---|---|
| Evolution strategies | إدارة عملية التطور |
| Evolutionary Computation | الحساب التطوري |
| Evolved Biota | التطور البيولوجي |
| Fitness | التقييم (الملاءمة) |
| flow constraints | شرط الجريان (الغزارة) |
| flow demand | الغزارة المطلوبة |
| flow stored | الغزارة المخزنة |
| flow supplied | الغزارة المزودة |
| Genes | الجينات |
| Genetic Algorithms | الخوارزميات الجينية |
| Genetic Programming | البرمجة الجينية |
| Genotype | النمط الجيني |
| Hexadecimal Encoding | الترميز بالنظام الست عشري |
| Individuals | الأفراد |
| Initial Population | المجتمع الأولي |
| Integer Number Encoding | الترميز بواسطة الأعداد الصحيحة |
| Junction | عقدة |
| Liner Programming | البرمجة الخطية |
| looped Network | الشبكة الحلقية |
| Mean Squared Error | متوسط الخطأ التربيعي |
| Multi Objective Optimization | التابع الهدف بعدة متغيرات |
| Multi-point crossover | التصالب من عدة نقاط |
| Mutation | الطفرة |
| mutation percent | نسبة الطفرة |
| Network layout | توضع الشبكة |
| Non liner Programming | البرمجة اللاخطية |
| Non  Adaptive search methods | طرق البحث غير التكيفية |

| | |
|---|---|
| Operation | عملية |
| Objective function | التابع الهدف |
| Optimal Solution | الحل الأمثل |
| Optimization | الأمثَلَة |
| Parallelization | التوازي |
| penalty factor | عامل الغرامة |
| Phenotype | النمط الظاهري |
| Pipe | أنبوب |
| Pool | وعاء (فضاء العينة) |
| Pressure | الضغط |
| Random search | البحث العشوائي |
| Random Selection | الاختيار العشوائي |
| Rank Selection | الاختيار بالترتيب |
| real Number Encoding | الترميز بالأعداد الحقيقية |
| relative flow change | التغير النسبي للغزارة |
| Reliability | الموثوقية |
| Replacement | التبديل |
| Reproduction | إعادة الإنتاج |
| Reservoir | مورد مائي |
| Roulette wheel | دولاب الروليت |
| Search Space | فضاء البحث |
| Selection | الاختيار |
| Simulated Annealing | الانصهار الزائف |
| single objective Optimization | التابع الهدف بمتغير وحيد |
| Single -point crossover | التصالب من نقطة وحيدة |
| Tank | خزان |
| Two - point crossover | التصالب من نقطتين |

| | |
|---|---|
| Uniform crossover | التصالب المنتظم |
| Value Encoding | الترميز بالقيمة الحقيقية |
| Velocity | السرعة |

# ثبت المراجع


1- \Walski. M, Chase. D. V, Savic.D. A, Walter. G, Stephen. B,Koelle. E, *AdvancedWaterDistrebutionModelingAnd Management.* Bentley Institute Press.(648-687).
2- Salcedo, D., and Weiss, A. O. (1972). "*Solution of Water Resources Problems with Economies of Scale by Linear Programming.*" Water Resources Bulletin, 8, 546.
3- Karmeli, D., Gadish, Y., and Meyer, S. (1968). "*Design of Optimal Water Distribution Networks."* Journal of Pipeline Division, ASCE, 94(1), 1.
4- Van Zyl, J. E., Savic, D. A., and Walters, G. A. (2001). "*A Hybrid Method for Operational Optimization of Water Distribution Systems*." *Water Software Systems: Theory and Applications*, Vol. 2, Ulanicki, B., Coulbeck, B., and Rance, J. P., eds., Research Studies Press, Baldock, Hertfordshire, United Kingdom, 89.
5- Kirkpatrick, S., Gelatt, C. D., and Vecchi, M. P. (1983). "Optimization by Simulated Annealing." Scie220, 671.
6- De Neufville, R., Schaake, J., and Stafford, J. J. (1971). "*Systems Analysis of Water Distribution Networks.".* Journal of Sanitary Engineering Division, ASCE, 97(6), 825
7- Cohon, J. L. (1978). *Multi-objective Programming and Planning. Academic Press*, New York, New York.
8- Camp, T. R. (1939). "*Economic Pipe Sizes for Water Distribution System."* Transactions of the American. Society of Civil Engineers, 104, 190.
9- Swamee, P. K., and Khanna, P. (1974). "*Equivalent Pipe Methods and Optimizing Water Networks—Facts and Fallacies*." Journal of Environmental Engineering Division, ASCE, 100(EE1), 93.
10- Deb, A. K. (1973). "*Least Cost Design of Water Main System in Series*." Journal of the Environmental. Engineering Division, 99(2), 405.
11- HOLLAND.J.*Adaptation in Natural and Artificial Systems* (2ndedn.) Univ. of Michigan Press.(1992*)* .annArbor,MI pp.183.
12- Maier, H. R., Simpson, A. R., Foong, W. K., Phang, K. Y., Seah, H. Y., and Tan, C. L. (2001). "*Ant Colony Optimization for the Design of Water Distribution Systems*." Proceedings of the World Water and Envi-ronmental Resources Congress, Orlando, Florida.
13- ASSAD. N. F**.** *Developing a new analytical model for predicting pore pressure changes in deep fractured rocks –Hybrid Model Combining FEM, GA, and ANN*. Saitama University. JAPAN.(2006).(107).
14- MONTESINOS P, CARCIA-GUZMAN A and AYUSO JL (1999) Water distribution network optimization using a modified genetic algorithm.Water Resour. Res. 35 (11) 3467- 3473.

15- REIS LFR and CHAUDHRY FH (1997) *Optimal location of control valves in pipe networks by genetic algorithm*. J. Water Resour. Manage. 123(6) 317-320.
16- YEO MF and AGYEI EO (1998) *Optimizing engineering problem using genetic algorithms.* Eng. Comput. 15 (2-3) 268-280.
17- YAGI S and SHIBA S (1999) *Application of genetic algorithms and fuzzy control to a combined sewer pumping station*. Water Sci. Technol. 39(9) 217-224.
18- WARDLAW R and SHARIF M (1999) *Evaluation of genetic algorithms for optimal reservoir system operation.* J. Water Resour. Plann. Manage.125 (1) 25-33.
19- MORSHED J and KALUARACHCHI JJ (1998) Application of artificial neural network and genetic algorithm in flow and transport simulations.Advances in Water Resour. 22 (2) 145-158.
20- OLIVEIRA R and LOUKS D P (1997) *Operating rules for multi-reservoir systems. Water Resour*. Res. 33 (4) 839-852.
21- GUPTA I, GUPTA A and KHANNA P (1999) - *Genetic algorithm for optimisation of water distribution systems*. Environ. Modelling and Software 14 437-446
22- HALHAL D, WALTERS GA, OUAZAR D and SAVIC DA (1997) *Water network rehabilitation with structured messy genetic algorithm.* J. Water Resour. Plann. Manage. 123 (3) 137-146
23- WALTERS G A, HALHAL D, SAVIC D and QUAZAR D (1999) *Improved design of "Anytown" distribution network using structured messy genetic algorithms.* Urban Water 1 (1) 23-38
*24-* VUUREN.VAN. SJ,*Application of genetic algorithms - Determination of the optimal pipe diameters*.(January 2002).(217-226).
25- GŬC. G. *Optimization Of Water Distribution Systems using Genetic Algorithms.* Middle East Technical university- Ankara.(2006).(76).
26- Kahraman M. (2003), *Optimal Design And Expansion Of Water Distribution Systems Using Genetic Alghorithms*.M.S. Thesis, Dokuz Eylul University.
27- Afshar M H. and Jabbari E. (2006) *SIMULTANEOUS LAYOUT AND PIPE SIZE OPTIMIZATION OF PIPE NETWORKS USING GENETIC ALGORITHM*. Department of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Narmak, Tehran,Iran
28- Clark C.and Zheng Y W. *Integrated Hydraulic Model and Genetic Algorethms Optimization for Informed Analyses of Real Water Systems*. Watertown, CT06795, USA.
29- Moneim M A. Moawad A K. Molla A A.and Selawy A A.Relopt: *Model Application for Reliability- Based Optimization of Water Distribution Networks.* World Engineering & Applied Sciences Journal 1 (1): 01-08, 2010.
*30-* Abdel Moneim Mohamed.(2004)."*Modelling Reliability Based Optimization Design for Water Distribution Networks"*.Scientific and Engineering Applications Using MATLAB, Arab Republic of Egypt.
*31-* Al-Zahrani. M. A. and Moied. K. *Optimization Water Quality Monetoring Stations Using Genetic Algorithms*.(2003) King Fahd University of Petroleum & Minerals. Department of Civil Engineering. Dhahran 31261, Saudi Arabia
32- **زعرور. نسيب** " ***ملاءمة الألغوريتمات الوراثية لاستخدامها في الجدولة الزمنية لمشاريع التشييد***". **رسالة ماجستير.(2008). جامعة البعث. كلية الهندسة المدنية.** حمص. سورية.

33- AWAD.A.R, POSER.I.V, WICHMANN.K.(2006). *Real- Coding Genetic Algorithm Advantages in Water Systems Optimization over Other Search Techniques.* WSEAS TRANSACTIONS ON COMPUTERS. 725 (10) 718-726.
34- GOLDBERG DE (1989) *Genetic Algorithms in Search, Optimisation and Machine Learning*. Addison-Westley Press.
35- NARVAEZ, P.C and GALEANO,H: *Genetic Algorithms for the optimization of pipe lines systems for liquid distribution*. Ciencia technologies future- Dis (2004). (117-130).
36- REEVES.C.R, JONATHAN, E.*Genetic Algorithms: Principles and Perspectives- A Guide to GA Theory*.Kluwer Academic Publishers. Dordrecht.(Print ©2003) Thomas.(318)
37- KENNETH. A. De, JONG.L,Schmitt.M, (Eds.) *Foundations of Genetic Algorithms*. 8th International Workshop, FOGA. ( 2005).(315).
38- BARROS AS and RUTLEDGE (1998) *Genetic algorithm applied to the selection of principal components* – Chemometrics and Intelli. Lab.Sys. 40 65- 81
39- HUANG C and MAYER AS (1997) Pump-and-treat optimization using well locations and pumping rates as decision variables. Water Resour.Res. 33 (5) 1001-1012

40- المؤسسة العامة لمياه الشرب والصرف الصحي *في اللاذقية. مديرية المعلوماتية–مخطط شبكة مياه المشروع العاشر*،2007.

41- المؤسسة العامة لمياه الشرب والصرف الصحي في اللاذقية. مشروع إرواء منطقة جبلة وريفها–الكشف التقديري للأعمال المطلوب تنفيذها، .2011.

42- حسن، كاسب. الهندسة الصحية. منشورات جامعة تشرين،1981.(194)

43- قصير، أحمد حبيب. الإمداد بمياه الشرب (1). جامعة تشرين، 1994.(278)

44- بلدية اللاذقية. المخطط التنظيمي لمنطقة المشروع العاشر، 1990.