Analysis of water distribution network performance by penalty curve

M. E A Basiouny [a] and H K. EL-Atreby [b]
a Civil Eng Dept Higher Institute of Technology Benha
b Civil Eng Department. Faculty of Engineering, Mansora University

Measuring the hydraulic performance of water distribution network (WDN) is one of the difficult issues facing the water supply industry today The system for measuring hydraulic performance in WDN used in this paper, is based on three parameters, (1) extended period simulation analysis for the network, modeling of penalty curves for the design criteria, and performance indexes computation A system of penalty curves for pipe flow velocity, nodal pressure head and its fluctuation, and nodal chlorine residual is used to assess the performance of a real WDN over 72-hrs extended period simulation The methodology gives the designer very useful tools for operation, design, planing, and rehabilitation of WDN.

يعتبر قياس اداء شبكات توريع مياه الشرب من اصعب المهام التي تواجه صناعة الإمداد بالمياه اليوم. يتضمن هذا البحث منهج تقريبي لقياس معاملات الاداء بوسطة منحنى العقوبة معتمدا علي ثلاث محاور: ١- عمل المحاكاة الممتدة المدة لشبكة التوريع عن طريق احدى البرمجيات، ٢- وصع نموذج منحنيات العقوبة بالنسبة لبيانات التصميم، ٣- حساب معاملات الأداء ورسمها. طبق هذا المنهج علي شكة توزيع مياه شرب واقعية لمدة تشغيل تزيد عن ٧٢ ساعة و تم وضع نماذج منحنيات العقوبة لكل من الضغوط وتغيرها في نقط اتصال الشبكة وكذلك للسرعة في المواسير و ايضا تركيز الكلور الحر المتبقي عند نقط الاتصال المختلفه. اوضحت النتائج العملية ان المنهج المقترح يحقق استنباط سريع وحساس لسلوك شبكات توزيع المياه ويمدد بوسيلة تشخيص نموذجية فعالة لها. كما يعتبر سند قيم لتخطيط وتصميم وتشعيل وكذلك تطوير شبكات التوزيع.

Keywords: Water distribution system, Extended period simulation. Performance analysis, Penalty curves.

١. مقدمة

تنبثق أهمية شبكات المياه من ضرورة توافر المياه النقية للاستخدام ومن هنا كانت أهميتها بالنسبة للمدينة لا تقل أهمية عن الشرايين والأوردة الدموية بالنسبة للإنسان. إن وظيفة شبكات توريع المياه تتلخص فى توفير كميات المياه الصالحة للاستخدام بالضغوط المناسبة خلال ساعات اليوم وفى جميع الأوقات الحالية والمستقبلية بغض النظر عن وجود أعطال فى بعض أجزاء الشبكة.

عند تصميم الشبكات يجد المصمم نفسه أمام اعتبارات فنية واقتصادية وبيئية وصحية صعبة. فمن الناحية الفنية يجب تحديد شكل ومواصفات مكونات نظام التغذية كى تعمل الشبكة فى توافق مع بعضها لتحقيق الغرض من إنشائها مع مراعاة الاعتبارات الأخرى. ومن الناحية الاقتصادية يجب تنفيذ و تشغيل الشبكة لتوفير المياه للمستهلكين بأقل تكلفة. ومن الناحية البيئية يجب أن تكون الشبكة منفذة بطريقة سليمة وأن تكون ضغوط التشغيل غير زائدة عن الحاجة حتى لا يحدث تسرب يؤثر على منسوب المياه الجوفية والمنشآت. ومن الناحية الصحية يجب أن يكون معدل الضخ والتخزين متوافق مع احتياجات المجتمع الحالية والمستقبلية. كما يجب أن تكون الشبكة أمينة للحفاظ على جودة المياه ولا يكون مكوناتها بالشبكة فترة طويلة تؤدى إلى تغير خواصها.

© Faculty of Engineering, Alexandria University, Egypt.

ومع مراعاة الاعتبارات السابقة – يجد المصمم نفسه أمام متناقضات ففي حين أنه يجد من الناحية الاقتصادية أن أحسن نظام هو النظام الشجري للتغذية يجد من الناحية الفنية والصحية أن النظام الشجري هو أقل اعتما دية وأن النظام الشطر نجى مع أنه أكثر تكلفة إلا أنه أضمن فى توفير المياه فى حالة حدوث أعطال فى أحد خطوط الشبكة. وفى حين نجد أن الضغط العالي مطلوب لتوصيل المياه إلى الأماكن البعيدة عن المحطة وللارتفاعات العالية – نجد أنه بزيادة الضغوط تزداد نسبة التسرب حتى أنها تصل إلى ٣٥% فى بعض الشبكات. كما أنه للحفاظ على نسبة كلور متبقي عالية في المياه يفضل أن تكون سرعة المياه بالمواسير عالية حتى لا تبقى المياه بالخطوط فترات طويلة وبرغم ذلك نجد أن السر عات العالية لها تأثير عكسي على فاقد الضغط خلال الشبكة وبالتبعية لها تأثير سلبي على تكاليف تشغيل الطلمبات.

فى الوقت الحاضر توجد بالأسواق الكثير من البرمجيات التى تساعد المصممين فى تحليل عناصر الشبكة هيدروليكياً وتحليل تأثير عناصر التشغيل على جودة المياه. وبرغم أنه يمكن استخدام هذه البرامج بشكل مبسط لتحليل الشبكة تحت تأثير تصرفات أقصى استهلاك لتعيين الضغوط وجودة المياه إلا أن هذا لا يعبر عن التشغيل اليومي ولا يساعد فى تصميم ومراجعة مناسيب الخزانات وسلوك الشبكة خلال ساعات اليوم المختلفة. لذلك يلجأ الكثير من المصممين إلى استخدام البرمجيات لعمل محاكاة ممتدة **Extended Period Simulation** للتعبير الحقيقي عن عناصر الشبكة تحت ظروف مختلفة من التصرفات. ولكن ما يعيب استخدام هذه البرامج هو أن النتائج تكون معظمها فى جداول ذات أرقام كثيرة جافة المعنى يصعب مقارنتها ولا تساعد على اتخاذ قرار بشأن الحل الأفضل ومن هنا كانت المشكلة القائمة حاليا هو كيفية الاختيار المناسب من بين البدائل المختلفة للتخطيط ولتحديد مكونات الشبكة للوصول إلى الحل وطريقة التشغيل الأفضل لتحقيق الغرض المطلوب. والأمر لا ينتهي بالتصميم والتنفيذ ففي أثناء عمر الشبكة والذي يتراوح من ٤٠ – ٥٠ سنة تحدث تغيرات لخشونة جدران المواسير ولنمط استهلاك المياه ومعدلاته الأمر الذى يجعل القائمين على التشغيل شغوفين بمعرفة كيفية أداء الشبكة تحت ظروف التشغيل المختلفة. لهذا كان الأمر يتطلب عند تقييم تصميم أو أداء شبكات توزيع المياه تحويل وإظهار نتائج تحليل الشبكات تحت ظروف التصميم والتشغيل المختلفة (والتى تكون فى صورة أرقام فى جداول جافة عن التعبير) فى صورة معبرة محايدة بالنسبة للظروف العامة وأن تكون سهلة في المقارنة بين البدائل المتباينة وحالات التشغيل المختلفة.

٢. تقييم الأداء بين التصميم والتحليل

تختلف مهمة تقييم أداء الشبكة عن مهمة التصميم والتحليل. فعلى حين نجد أن عملية التصميم منوط بها تحديد مسارات خطوط المواسير وتحديد أقطارها وتحديد أماكن الخزانات العالية وضبط مناسيبها وحجمها كذلك تحديد مصادر المياه ونقط الضخ فى الشبكة نجد من جهة أخرى أن عملية تحليل الشبكات مهمتها حساب قيمة بعض المتغيرات مثل السرعة و الضغط فى عناصر الشبكة المصممة عند حالات تحميل معينة أى عند قيم تصرفات واستهلاكات محددة. أما عملية التقييم التى هى موضوع هذا البحث فهى تحديد مدى مطابقة قيم المتغيرات المختلفة التى تم تعيينها عن طريق تحليل الشبكات لحدود القيم الاعتبارية المرغوبة من وجهة نظر المصمم.

تتم عملية التصميم باختيار مسارات خطوط المواسير التى تناسب تخطيط شوارع المنطقة. وتكون المسارات فيما بينها حلقات، تفضل أن تكون مستطيلة الشكل فى اتجاه سريان الميله

من نقطة دخولها للشبكة إلى أبعد نقطة. ثم يقوم المصمم بعد ذلك بناءاً على خبرة وبناء على بعض القواعد والأسس البسيطة باختيار أقطار المواسير المناسبة. و للتأكد من مدى ملائمة وتوافق أقطار هذه المواسير لأداء المهمة المطلوبة يتم عمل تحليل هيدروليكي للشبكة لتحديد بعض المتغيرات مثل السرعة، وفواقد الضغط والضغط عند النقط المختلفة للشبكة تحت تأثير التصرفات القصوى والضغط المتاح فى بداية الشبكة. وبمراجعة نتائج التحليل قد يرى المصمم أن هناك بعض الخطوط لا تتوافر فيها القيم المرغوبة للمتغيرات فيقوم باختيار قطر آخر للتصحيح ثم يقوم بتكرار التحليل، وهكذا بتكرار التغيير والتحليل إلى أن يصل إلى تصميم مناسب يحقق قيم للمتغيرات مناسبة عند التصرفات القصوى.

وعلى ضوء هذا ماذا يكون أداء هذا التصميم عند قيم أخرى للتصرفات خلال ساعات اليوم وخلال عمر الشبكة الحالي والمستقبلي، وما هو تأثير التصميم المقترح على بعض المتغيرات الأخرى التى لم تأخذ فى الاعتبار أثناء التصميم مثل تركيز الكلور الحر المتبقي و تذبذب الضغط ؟ للإجابة على هذه الأسئلة وهو موضوع بحثنا يتم عمل تقييم لأداء عناصر الشبكة منفردة ومتحدة على عدة مراحل هى كالآتي :

٢٠١. مرحلة تحديد المتغيرات

يتم فى هذه المرحلة تحديد المتغيرات التى تعبر عن جانب الأداء المطلوب تعيينه حيث يمكن اختيار متغير مثل السرعة أو الميل الهيدروليكي لتقييم الأداء والتشغيل. كما يمكن اختبار الضغط كمؤشر لكفاءة الخدمة، التذبذب فى الضغط كمؤشر لاستقرار التشغيل، الكلور الحر المتبقي كمؤشر لجودة المياه.

٢٠٢. مرحلة تحديد حالات التحميل والاستهلاكات

يتم خلال هذه المرحلة تحديد حالات التحميل في الفترات الزمنية المختلفة وأنماط استهلاك المياه للحالات التى يتم تقييم أداء تصميم و تشغيل الشبكة لها.

٢٠٣. مرحلة تحديد حدود المعايير

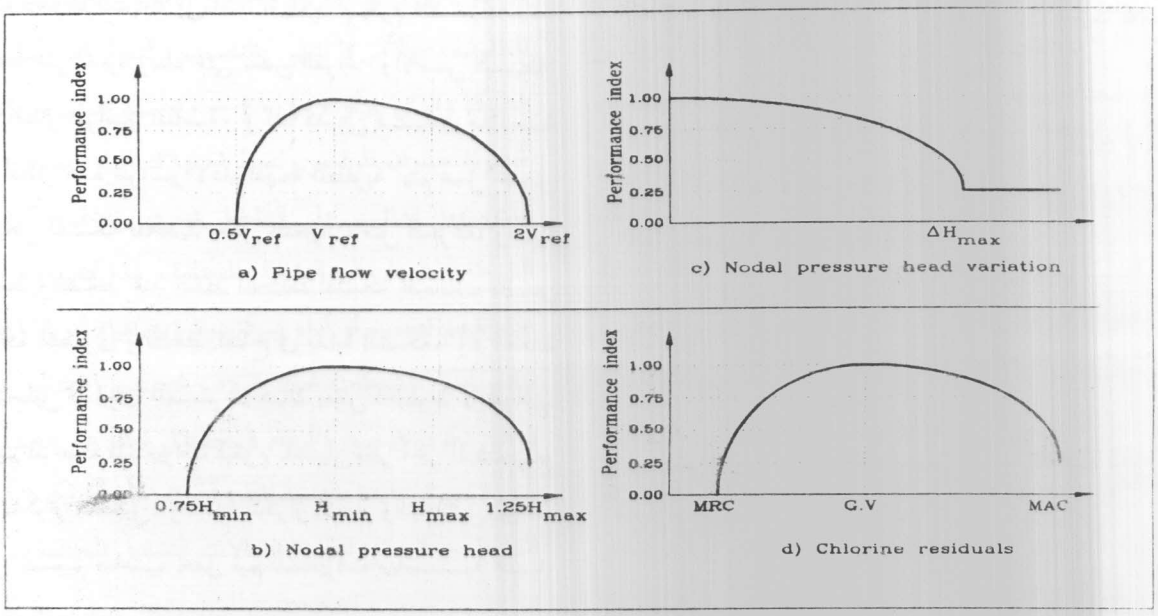
يتم خلال هذه المرحلة اختيار الحدود المناسبة لكل متغير من واقع الدراسات والأبحاث والخبرات السابقة.

٢٠٤. مرحلة التحليل

فى هذه المرحلة يتم استخدام أحد البرمجيات المعتمدة لتحليل الشبكات و لحساب القيم المختلفة للمتغيرات التى تم اختيارها عند ظروف التحميل والاستهلاكات المتباينة.

٢٠٥. حساب معاملات ومؤشرات الأداء

يتم هنا تقييم مدى مطابقة قيم المتغيرات على مستوى عناصر الشبكة (الماسورة أو نقطة الاتصال) والناتجة من التحليل السابق بالنسبة للقيم المرغوبة والمحددة فى المرحلة الثالثة ويسمى هذا المنهج التقريبي بمنحنى العقوبة (Penalty Curve)، وبفرض التقييم على مستوى عناصر الشبكة عن طريق حساب معامل تقييم الأداء (Performance) P_{ij} يكون التقييم على المستوى الإجمالي للشبكة عن طريق حساب مؤشر الأداء P_j،



شكل ١. منحنيات العقوبة لمعاملات الأداء المختلفة.

يكون معامل الأداء لعنصر الشبكة مساويا للوحدة إذا كانت قيمة المتغير مطابقة للقيم المثلى أو القيمة المتوسطة ويساوى صفر أو قيمة صغرى إذا كانت قيمة المتغير خارج الحدود المرغوبة. ويأخذ معامل الأداء قيمة من صفر إلى ١,٠٠ على حسب طبيعة المتغير وحيوده عن القيمة المثلى أو المتوسطة.

وقد اقترح كيلهو[1, 2] أن تكون العلاقة بين قيمة المتغير وقيمة معامل الأداء علاقة خط مستقيم وهذا يعنى أن أى حيود لقيمة المتغير عن القيمة المثلى أو المتوسطة يقابله هبوط ملحوظ ومباشر فى معاملات الأداء والذي قد يكون له مدلول خاطئ على المستوى العام للشبكة. و في بعض الأبحاث الأخرى مثل[3, 4] يتم تقييم أداء الشبكات عن طريق قياس نسبة الفواقد المائيه.

لذلك نقترح فى بحثنا هذا أن تكون العلاقة خط منحنى من الدرجة الثانية والذي يجعل معامل الأداء لقيم المتغير القريبة من القيمة المثلى أو المتوسطة، يأخذ قيم قريبة من الواحد وبالتالي يكون معبرا بطريقه جيده عن معامل الأداء. وتختلف العلاقة التى تربط قيمة المتغير مع معامل الأداء على حسب طبيعة المتغير تحت الدراسة كالآتي وكما هو موضح بالأشكال 1a, 1b, 1c, 1d) :

١٠٥٠٢. معامل أداء السرعة (P_{iv})

من المعروف أن حدود السرعة الاقتصادية في المواسير من ٠,٨٠ - ١،٢٠ م/ث بقيمة متوسط ١,٠ م/ث. إن الخروج عن هذه القيم بالزيادة أو النقصان له التأثير السلبى. وذلك لأن السرعة المنخفضة جدا دليلا على زيادة قطر الماسورة ومؤشر على احتمال انخفاض جودة المياه نتيجة لركودها فترة طويلة بالمواسير. والسرعة العالية أو زيادة الميل الهيدروليكي تؤدى إلى زيادة فاقد الضغط وتكاليف الضخ و قد تسبب تآكل المواسير. وحيث أن قيمة السرعة يمكن التحكم فيها لأي خط

عن طريق اختيار القطر المناسب- تم اعتبار أنه عند حدوث السرعة المتوسطة في الخط والتي يمكن اعتبارها السرعة المرجعية ($V_{reference}$) يكون معامل الأداء مساوي الوحدة ١,٠٠ وإذا كانت السرعة خارج الحدود المسموح بها يكون معامل الأداء مساوي للصفر. وعندما تأخذ السرعة قيمة بين القيمة المتوسطة والقيمة الصغرى أو العظمى يمكن تحديد معامل الأداء من معادلة القطع المكافئ (شكل1a) وعليه يمكن لمعامل أداء السرعة أن يأخذ القيم الآتيه:

$$P_{iv} = 0 \quad \text{if} \quad v \le 0.5\ v_{ref}\ , \tag{1}$$

$$P_{iv} = 0 \quad \text{if} \quad v \ge 2\ v_{ref}\ , \tag{2}$$

$$P_{iv} = \sqrt{1 - \frac{(v - v_{ref})^2}{(v_{ref})^2}} \quad \text{if} \quad 0.5 < v_{ref} < 2\ v_{ref}\ , \tag{3}$$

$$P_{iv} = \sqrt{1 - \frac{(v_{ref} - v)^2}{(0.5 v_{ref})^2}} \quad \text{if} \quad 0.5\ v_{ref} < v < v_{ref}\ . \tag{4}$$

٢٠٥٠٢. مؤشر الأداء العام للسرعة في الشبكة P_V

يمكن حساب مؤشر الأداء العام لسرعة المياه فى الشبكة (P_V) عند زمن معين أو حالة تحميل محددة ويتم أخذ متوسط معاملات أداء عناصر الشبكة (خطوط المواسير) عند هذا الزمن. ولكى يكون المؤشر معبر جيد عن المتوسطات كان من اللازم أخذ تأثير قطر المواسير وأطوالها عند حساب مؤشر الأداء العام ومن هنا يمكن تعيين مؤشر الأداء العام للسرعة من العلاقة الآتية :

$$P_V = \frac{\sum_{i=1}^{n} P_{iv}\ a_i\ l_i}{\sum_{i=}^{n} a_i\ l_i} \tag{5}$$

حيث :

P_V = مؤشر الأداء العام للسرعة فى الشبكة

P_{iv} = معامل أداء السرعة للماسورة (i)

a_i = مساحة مقطع الماسورة (i)

l_i = طول الماسورة (i)

٢٠٥٠٣. معامل أداء الضغط P_{ih} (head)

الضغط له مدلول آخر غير السرعة وهو يحدد عند نقط الاتصال فانخفاض الضغط عن قيمة معينة وليكن h_{min} يعنى تضاؤل إمكانية الاستفادة من كمية المياه وبالتالي إذا كان الضغط أقل من $0.75\ h_{min}$ يكون معامل الأداء لنقطة الاتصال مساوي صفراً. والقيمة المثلى للضغط المطلوب توفيرها هو مثلا h_{max} وعندها يكون معامل الأداء مساوياً ١,٠ وزيادة الضغط عن هذه القيمة لا يعنى زيادة الاستفادة لذلك يكون معامل الأداء أقل من ١,٠ و بفرض السماح بقيمه تتذبذب فوق هذه القيمة فيكون أقصى قيمة للضغط ولا تكون معها زيادة عالية مقصودة فى التكاليف هو $1.25\ h_{max}$ وزيادة الضغط عن هذا الحد يقابله معامل أداء منخفض ولا يساوى الصفر لأنه فى بداية كثير من الشبكات يكون هناك اضطرارا لزيادة الضغط عن هذه القيمة للتغلب على فواقد الضغط خلال خطوط المواسير ولتحقيق الضغط المناسب عند أطراف الشبكة. وعليه ومن الشكل (1b) يمكن لمعامل أداء الضغط أن يأخذ القيم الآتية:

$$P_{ih} = 0 \quad \text{if} \quad h \le 0.57\ h_{min}\ , \tag{6}$$

$$P_{ih} = 0.25 \quad \text{if} \quad h \ge 1.25\ h_{max}\ , \tag{7}$$

$$P_{ih} = \sqrt{1 - \frac{(h_{min} - h)^2}{(0.25 h_{min})^2}} \quad \text{if} \quad 0.75 h_{min} \le h \le h_{min}\ , \tag{8}$$

$$P_{th} = 0.25 + \sqrt{(0.75)^2 - \frac{(0.75)^2\ (h - h_{min})^2}{(1.25\ h_{max} - h_{min})^2}} \qquad (9)$$

$$\text{if } h_{min} \le h \le 1.25 h_{max} .$$

٢ ٠ ٥ ٠ ٤ ٠ مؤشرات الأداء العام لضغط الشبكة P_H

حيث أن كمية المياه المستهلكة عند نقطة معينة تتأثر بالضغط المتوافر فى هذه النقطة. لذلك كى يكون مؤشر الأداء العام لضغط الشبكة P_H معبر جيد عن متوسطات ضغط نقط الشبكة بالنسبة للتصرفات و يجب أخذ تصرفات نقط الاتصال فى الاعتبار عند حساب المؤشر العام للأداء وطبقا للعلاقة الآتية:

$$P_H = \frac{\sum P_{ih}\ q_i}{\sum q_i} , \qquad (10)$$

حيث :

P_H = مؤشر الأداء العام لضغط الشبكة

P_{ih} = معامل أداء الضغط لنقطة اتصال الشبكة(i)

q_i = التصرف المستهلك عند نقطة الاتصال(i)

٢ ٠ ٥ ٠ ٥ ٠ معامل ثبوت الضغط $P_{i\Delta h}$

فى الشبكات يفضل ثبوت الضغط عند القيم المناسبة له وأن يكون التذبذب فى أضيق الحدود وذلك لأن الإفراط فى التذبذب لقيمة الضغط يؤثر تأثيرا سلبيا على الأجهزة الصحية ويكون دليلا على عدم تناسق وجودة تخطيط وتصميم منظومة توزيع المياه بما تشمله من شبكات وخزانات عالية ومحطات ضخ وتقوية وعلى هذا إذا كان التذبذب فى الضغط منعدم يكون معامل ثبوت الضغط $P_{\Delta h}$ مساويا واحد ١ ولكن هناك نقط لا يمكن تفادى تذبذب الضغط عندها مثال ذلك النقط القريبة من الخزانات العالية ولذلك يكون هناك سماح لدرجة تذبذب معين فى الضغط وليكن Δh_{max} وعند زيادة مقدار التذبذب عن هذه القيمة يكون معامل ثبوت الضغط ذو قيم صغرى ٠,٢٥ وعندما يكون تذبذب الضغط بين الصفر و Δh_{max} يأخذ معامل ثبوت الضغط قيم تتراوح من ١ – ٠,٢٥ طبقا لمعادلة القطع المكافئ الآتية شكل(1c):

$$P_{i\Delta h} = 0.25 \qquad \text{if } \Delta h \ge \Delta h_{max} , \qquad (11)$$

$$P_{i\Delta h} = 0.25 + \sqrt{(0.75)^2 - \frac{(0.75)^2\ (\Delta h)^2}{(\Delta h_{max})^2}} \qquad (12)$$

$$\text{if } \quad 0 \le \Delta h \le \Delta h_{max} .$$

٢ ٠ ٥ ٠ ٦ ٠ المؤشر العام لثبوت ضغط الشبكة $P_{\Delta H}$

عند حساب المؤشر العام لثبوت ضغط الشبكة عند نقطة الاتصال المختلفة تأخذ قيمة تصرفات الاستهلاك عند هذه النقط فى الاعتبار للأسباب التى سبق ذكرها ويتم حسابه من العلاقة الآتية:

$$P_{\Delta H} = \frac{\sum P_{i\Delta h}\ q_i}{\sum q_i} . \qquad (13)$$

٢ ٠ ٥ ٠ ٧ ٠ معامل أداء جودة التعقيم P_{cli}

عموما مؤشرات جودة المياه يعبر عنها بثلاث صور منهم : قيم إرشادية (Guide Values, GV) والحد الأقصى المسموح به (Maximum Allowable Concentration, MAC) والحد الأدنى الموصى بـه (Minimum Recommended Concentration, MRC). من معاملات الأداء المهمة تلك المعبرة عن صحة المياه وجودها من ناحية احتفاظها بالكلور الحر المتبقي للتعقيم خلال سريان المياه فى الشبكة وحيث أنه لا يجب أن يكون تركيز الكلور الحر المتبقي أقل من الموصى بـه (MRC) لذلك إذا قل عن ذلك يكون معامل الأداء مساويا صفر.

$$P_{icl} = 0 \qquad \text{if} \qquad C \le MR \quad . \tag{14}$$

والقيمة الإرشادية للكلور الحر (GV) يكون عندها معامل الأداء مساويا ١,٠٠ وحيث أن زيادة تركيز الكلور عن الحد الأقصى المسموح به (MAC) عند نقطة الاستخدام يكون بدون زيادة الفائدة التى تقابل زيادة تكاليف استخدام الكلور، لذلك يكون معامل الأداء يساوى ٠,٢٥ وقيمة معامل الأداء للتعقيم عند التركيزات الأخرى يمكن حسابه من معادلة القطع المكافئ كالآتي (شكل 1d):

$$P_{icl} = 0.25 \qquad \text{if} \quad C \ge MAC \ , \tag{15}$$

$$P_{icl} = \sqrt{1 - \frac{(GV - C)^2}{(GV - MRC)^2}} \quad \text{if } MRC < C < GV \ , \tag{16}$$

$$P_{icl} = 0.25 + \sqrt{(0.75)^2 - \frac{(0.75)^2\,(C - MAC)^2}{(MAC - GV)^2}} \quad \text{if} \quad GV < C < MAC \ . \tag{17}$$

٢ ٠ ٥ ٠ ٨ ٠ المؤشر العام لأداء تعقيم الشبكة P_{Cl}

عند حساب المؤشر العام لأداء التعقيم بالشبكة تأخذ قيمة تصرفات الاستهلاك عند نقط الاتصال المحسوب لها معامل الأداء فى الاعتبار ويتم حساب المؤشر العام لأداء التعقيم من المعادلة الآتية:

$$P_{Cl} = \frac{\sum P_{cli}\ q_i}{\sum q_i} \ . \tag{18}$$

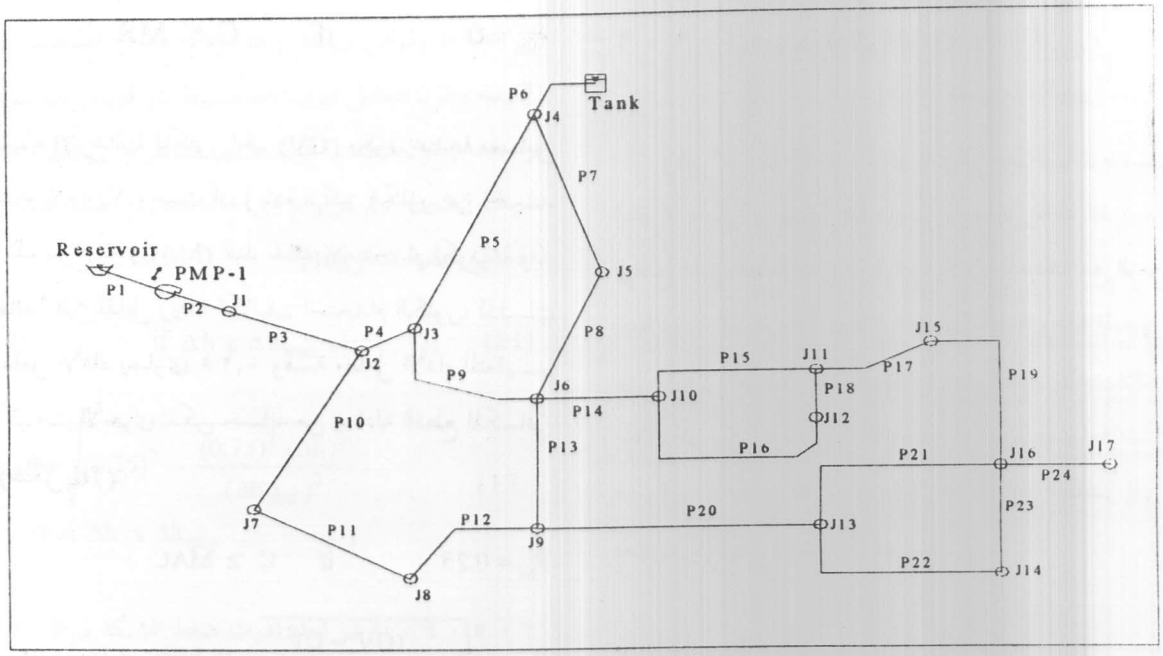
٢ ٠ ٦ ٠ منحنيات مؤشرات الأداء

وهى المرحلة الأخيرة والمهمة والتي يتم فيها توضيح أداء الشبكة بأسلوب يسهل للمصمم وللمشغل اتخاذ القرار. وهى توضح تغيير معاملات ومؤشرات الأداء المختلفة مع الزمن عند قيمة معينة لشكل الاستهلاك المتوسط للفرد وهذا المنحنى يعبر عن الشكل العام لأداء الشبكة مع تغير معدل الاستهلاك والضخ خلال اليوم (زمن ٢٤ ساعة) وتمثل قيم معاملات الأداء فى صورة حزم مئوية كل حزمة تمثل ٢٥% من العناصر التى تكون معاملات الأداء لها خلال حدود معينة.

٢ ٠ ٧ ٠ مثال تطبيقي

تم تطبيق مؤشرات الأداء السابقة على شبكة توزيع واقعية شكل (٢). هذه الشبكة قد تم استخدامها في عدة بحوث سابقه لتعيين الاعتمادية (Reliability) وتأثير زيادة الأقطار عليها [5, 6, 7]. تتكون هذه الشبكة من محطة طلمبات بالمواصفات الموضحة بالجدول (١) وخزان موازنة عالي يخدم الشبكة بالمواصفات المذكورة بالجدول (٢) كما تضم الشبكة مجموعة مواسير بالأطوال و الأقطار الموضحة بالجدول (٣) وعدد ١٦ نقطة اتصال بالمناسيب والاستهلاكات المبينة بالجدول (٤).

تم تحليل الشبكة عن طريق برنامج الوتر كاد Water CAD المعتمد من هيئة حماية البيئة بالولايات المتحدة الأمريكية (EPA) لفترة زمنية تزيد عن ٩٦ ساعة (96 hrs Extended Period Simulation) مع استخدام الشكل ٣ لمعدل استهلاك الفرد.



شكل ٢. كروكي شبكة التوزيع.

جدول ١

مواصفات وبيانات تشغيل محطة الطلمبات فى الشبكة لمدة ٢٤ ساعة

Time (hr.)	Shutoff Head (m)	Shutoff Discharge (L/s)	Design Head (m)	-Design Discharge (L/s)	Maximum Operating Head (m)	Maximum Operating Discharge (L/s)	Current Status	Start Hydraulic Grade (m)	End Hydraulic Grade (m)	Discharge (L/s)	Pump Had (m)	Current Water Power (HP)	Residual Chlorine (mg/L)
0	45	0	40	90	30	120	On	29.92	69.57	91.63	39.65	47.69	0.9
4	45	0	40	90	30	120	On	29.94	72.09	77.71	42.15	43.00	0.9
8	45	0	40	90	30	120	On	29.96	73.46	65.64	43.50	37.49	0.9
12	45	0	40	90	30	120	Off	29.92	68.8	94.87	38.89	48.43	0.9
16	45	0	40	90	30	120	On	20.00	47.73	0.00	0.00	0.00	0.9
20	45	0	40	90	30	120	On	29.92	68.8	94.87	38.89	48.43	0.9
24	45	0	40	90	30	120	Off	39.93	70.39	87.77	40.46	46.62	0.9

جدول ٢

مواصفات وبيانات تشغيل الخزان العالى في الشبكة لمدة ٢٤ ساعة

Time (hr.)	Base Elevation (m)	Initial Level (m)	Maximum Level (m)	Tank Diameter (m)	Tank Inflow (L/s)	Current Status	Hydraulic Grade (m)	Tank Level (m)	Percent Full (%)	Residual Chlorine (mg/L) (mg/l)
0	58.62	0.50	9.15	15	27.79	Filling	59.12	0.50	5.5	0.4
4	58.62	0.50	9.15	15	11.64	Filling	60.05	1.43	15.6	0.4
8	58.62	0.50	9.15	15	13.86	Filling	59.76	1.14	72.3	0.4
12	58.62	0.50	9.15	15	-52.73	Draining	65.79	7.17	78.3	0.4
16	58.62	0.50	9.15	15	18.92	Filling	59.04	0.42	4.6	0.3
20	58.62	0.50	9.15	15	-73.25	Draining	61.84	3.22	35.2	0.3
24	58.62	0.50	9.15	15	23.93	Filling	61.05	2.43	26.6	0.4

جدول ٣

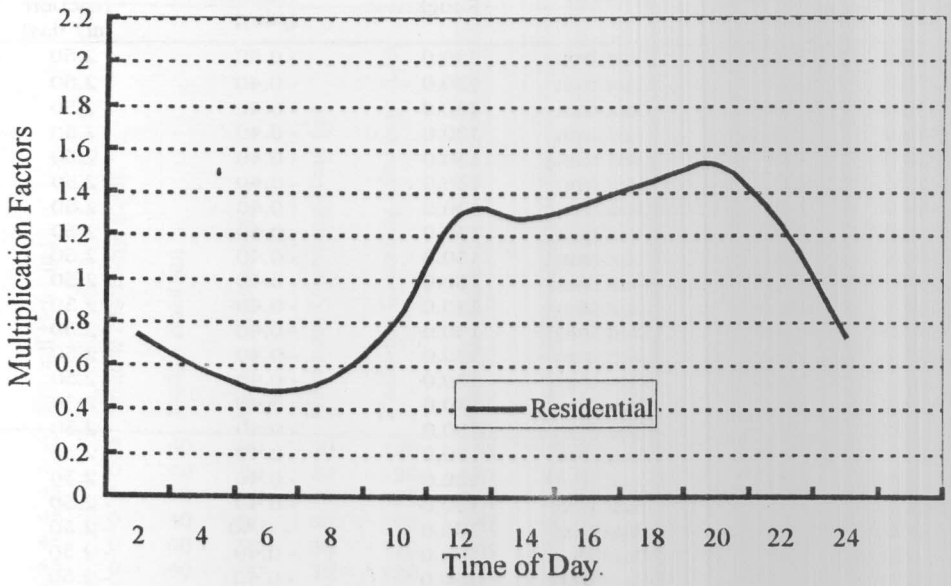
بيانات مواسير الشبكة

Pipe label P	Length (m)	Diameter (mm)	Material	Roughness	Pipe bulk reaction (/day)	Wall reaction (m/ day)
21	600.0	100	Cast Iron	130.0	- 0.40	- 2.50
4	375.0	250	Cast Iron	130.0	- 0.40	- 2.50
3	350.0	300	Cast Iron	130.0	- 0.40	- 2.50
18	450.0	150	Cast Iron	130.0	- 0.40	- 2.50
24	350.0	100	Cast Iron	130.0	- 0.40	- 2.50
1	15.0	300	Cast Iron	130.0	- 0.40	- 2.50
6	100.0	250	Cast Iron	130.0	- 0.40	- 2.50
20	1,250.0	100	Cast Iron	130.0	- 0.40	- 2.50
12	700.0	150	Cast Iron	130.0	- 0.40	- 2.50
19	1,050.0	100	Cast Iron	130.0	- 0.40	- 2.50
14	550.	150	Cast Iron	130.0	- 0.40	- 2.50
16	600.0	150	Cast Iron	130.0	- 0.40	- 2.50
13	650.0	150	Cast Iron	130.0	- 0.40	- 2.50
7	900.0	150	Cast Iron	130.0	- 0.40	- 2.50
23	650.0	100	Cast Iron	130.0	- 0.40	- 2.50
22	1,100.0	100	Cast Iron	130.0	- 0.40	- 2.50
9	850.0	250	Cast Iron	130.0	- 0.40	- 2.50
5	1,150.0	200	Cast Iron	130.0	- 0.40	- 2.50
17	550.0	100	Cast Iron	130.0	- 0.40	- 2.50
15	1,000.0	150	Cast Iron	130.0	- 0.40	- 2.50
10	1,000.0	150	Cast Iron	130.0	- 0.40	- 2.50
11	850.0	150	Cast Iron	130.0	- 0.40	- 2.50
8	600.0	150	Cast Iron	130.0	- 0.40	- 2.50
2	50.0	300	Cast Iron	130.0	- 0.40	- 2.50

جدول ٤

بيانات نقط اتصال الشبكة

Node label	Elevation (m)	Demand type	Demand (L/s)	Demand pattern	Node initial constituent (mg/l)
J16	32.74	Demand	3.00	Residen.	0.2
J2	31.12	Demand	2.50	Residen.	0.2
J1	31.12	Demand	1.50	Residen.	0.2
J12	32.50	Demand	5.00	Residen.	0.2
J13	32.26	Demand	5.00	Residen.	0.2
J9	31.04	Demand	3.50	Residen.	0.2
J15	32.50	Demand	3.50	Residen.	0.2
J10	32.39	Demand	5.00	Residen.	0.2
J6	31.65	Demand	5.00	Residen.	0.2
J4	32.68	Demand	2.50	Residen.	0.2
J14	31.71	Demand	3.00	Residen.	0.2
J3	32.60	Demand	3.00	Residen.	0.2
J11	31.88	Demand	3.50	Residen.	0.2
J7	31.70	Demand	4.00	Residen.	0.2
J8	32.26	Demand	4.00	Residen.	0.2
J5	32.50	Demand	3.00	Residen.	0.2



شكل ٣. معدل تغيير استهلاك الفرد المستخدم لحل شبكة التوزيع.

وقد لوحظ استقرار الضغوط وحالات ملء وتفريغ الخزان العالي بعد حوالي ٧٢ ساعة ومن ثم أخذت النتائج لكل من السرعة في المواسير والضغط وتركيز الكلور الحر المتبقي في نقط الاتصال. ثم عن طريق برنامج مكتوب بلغة الفورتران (Fortran) لحساب مؤشرات الأداء العام للشبكة مأخوذا في الاعتبار أوزان كل عنصر. تم ترتيب مؤشرات الأداء لكل عنصر وإيجاد المتوسط الحسابي وكذلك إيجاد الحزم المئوية (Percentile) لـ (٠- ٢٥) %، (٢٥-٥٠) %، (٥٠-٧٥) %، (٧٥-١٠٠) % من مؤشرات الأداء. بناء على هذه النتائج تم رسم منحنيات الأداء العامة للشبكة في الأشكال (من ٤ – ٧) لكل من السرعة عند سرعة مرجعية تساوى ٠,٥ م/ث (V_{ref} = 0.5 m/sec)، الضغط عن أقصى ضغط ٤٠م و أقل ضغط ٣٠م (H_{max} = 40 m , H_{min} = 30 m) وثبوت الضغط لفرق ضغط لا يزيد عن ٥ متر (ΔH = 5.0 m) وكذلك الكلور الحر المتبقي لقيم إرشادية ٠,٣ مجم/ لتر (GV = 0.3 mg/L, MAC = 0.5 mg/L, MRC = 0.2 mg/L).

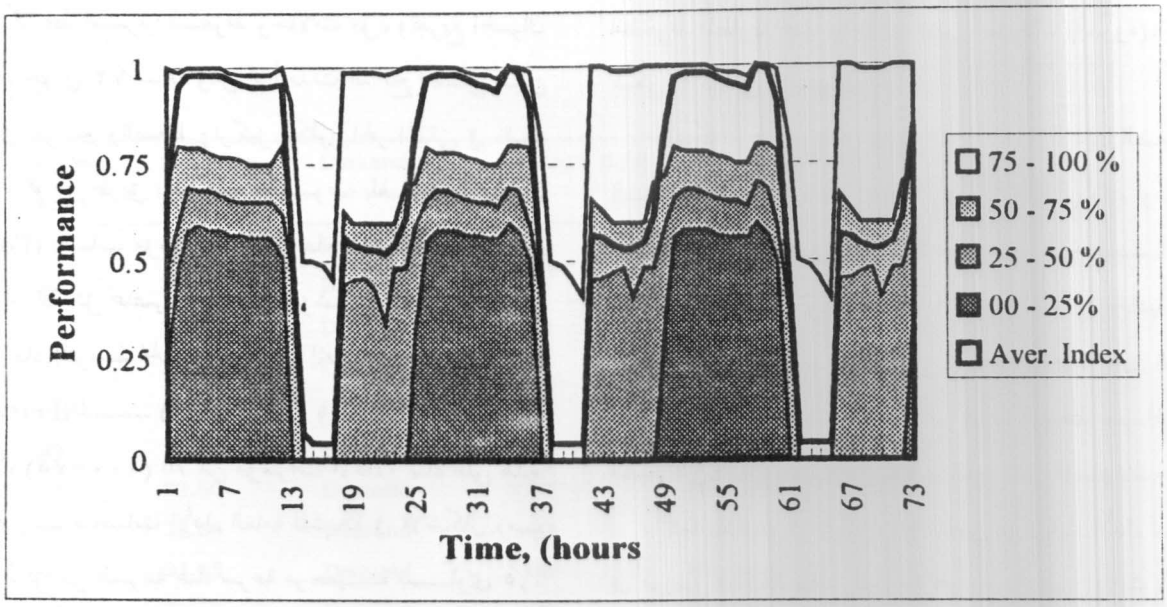
٢ ٠ ٨ ٠ تحليل النتائج

الشكل (٤) يوضح منحنى مؤشر الأداء للضغط في الشبكة على مدار ٧٢ ساعة ويلاحظ منه أن الضغوط في الشبكة تكون مقبولة وبمؤشرات أداء عالية طول اليوم فيما عدا الفترة من (١٤) الي (١٧) أى من الساعة الثانية حتى الخامسة بعد الظهر تكون مؤشرات أداء الضغط منخفضة إلى أن تصل إلى أدنى حد لها عند الساعة الخامسة وبقيمة ٧٥-١٠٠% من المؤشرات أقل من ٠,٤. وهذا يفسر ضعف الشبكة في تحقيق الضغوط المطلوبة عند ساعات أقصى استهلاك (الذروة)، انظر شكل ٣ منحنى الاستهلاك.

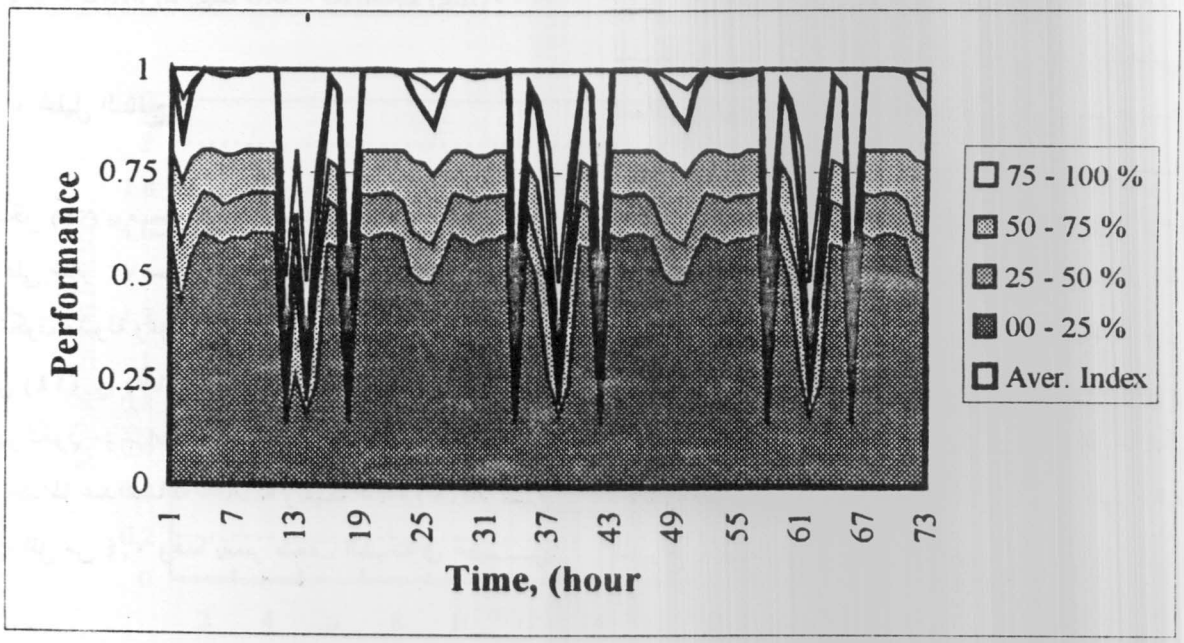
الشكل (٥) يوضح منحنى المؤشر العام لثبوت الضغط في الشبكة بفرق لا يزيد عن ٥ متر (ΔH = 5.0 m) وقد أوضحت الشبكة استقرار حقيقي للضغوط على مدار اليوم فيما عدا الفترة من ١١-١٥ ومن ١٧-١٩ أى من الساعة الحادية عشرة صباحا حتى الثالثة بعد الظهر ومن الساعة الخامسة حتى السابعة بعد الظهر وهما الفترتان اللتان يتغير فيهما الضغط بالهبوط ثم الصعود وبالعكس حسب ساعات الذروة في الاستهلاك.

كما يلاحظ في شكل (٦) منحنى مؤشرات الأداء للسرعة في مواسير الشبكة قياسا للسرعة المرجعية ٠,٥ م/ ث (V_{ref} = 0.5 m/sec) وقد لوحظ انخفاض مؤشرات الأداء في أثناء فترات الليل لانخفاض السرعة في تلك الفترات. كما لوحظ أن أداء السرعة ينخفض مرة أخرى في الساعة الثانية بعد الظهر وذلك لزيادة السرعة أثناء ساعات استهلاك الذروة.

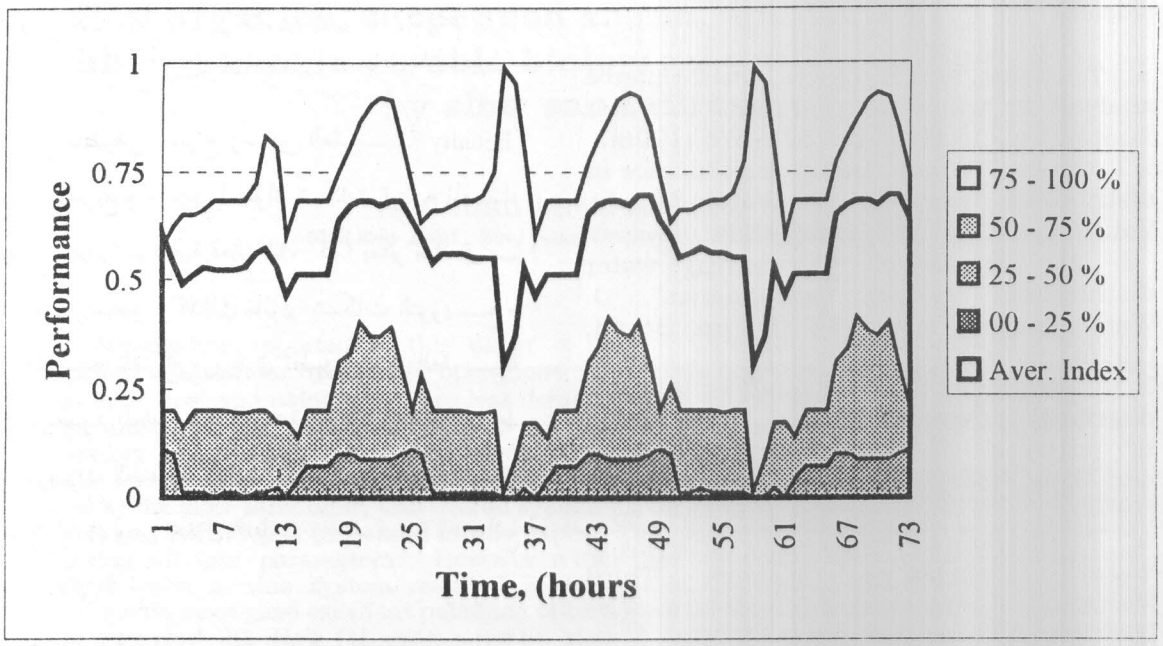
وبالنسبة لجودة المياه تم رسم نتائج مؤشرات الأداء للشبكة بالنسبة لقيم إرشادية لتركيز الكلور الحر المتبقي ٠,٣ مجم/لتر (GV=0.3 mg/L) والحد الأقصى المسموح به ٠,٥ مجم/لتر (MAC = 0.5 mg/L) و الحد الأدنى الموصى به ٠,٢ مجم/لتر (MRC = 0.2 mg/L) في الشكل(٧). وقد لوحظ من الشكل أن هذه المؤشرات تنخفض بعد الفترات التي تقل فيها السرعة مباشرة ويزداد فيها زمن المكث للمياه مما يؤثر على جودة المياه كما أنه يتأثر أيضا بارتفاع السرعة ونقص زمن المكث مما يجعل زمن سفر المياه (Travel time) أقل ما يمكن وبالتالي تأتى المياه من المصدر مباشرة وبها نسبة كلور عالية عن المصرح به فينخفض مؤشر الأداء أيضا.



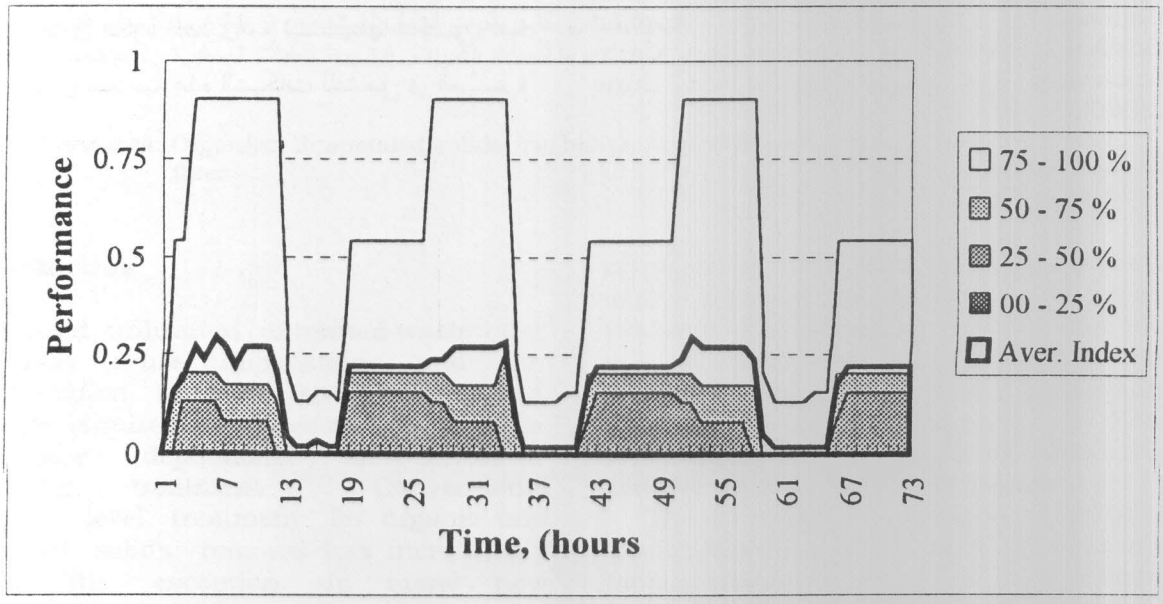
شكل ٤. معامل الأداء العام للضغط فى الشبكة بالنسبة للزمن.



شكل٥. معامل الأداء العام لثبوت الضغط فى الشبكة بالنسبة للزمن.



شكل ٦. معامل الأداء العام للسرعة فى الشبكة بالنسبة للزمن.



شكل ٧. معامل الأداء العام للكلور الحر المتبقي في الشبكة بالنسبة للزمن.

٣ . الخلاصة

يحقق المنهج التطبيقي المقترح (منحنى العقوبة Penalty Curve) استنباط سريع وحساس لسلوك شبكات توزيع المياه وتمدنا بوسيلة تشخيص نموذجية فعالة لها. كما يعتبر سند قيم لتخطيط وتصميم وتشغيل وكذلك تطوير شبكات التوزيع. أيضا يتيح هذا المنهج المقترح مرونة فى تطبيق منحنى العقوبة عن طريق تغيير حدود المعايير مثل السرعة (V_{ref}) والضغوط (H_{max}, H_{min}) وثبوت الضغوط (ΔH) كذلك جودة المياه (GV, MAC, MRC) ومن خلال التطبيق ودراسة النتائج يوصى البحث بالآتى :

١- الاهتمام بضرورة عمل التحليل المحاكى الممتد (Extend Period Simulation Analysis) لشبكات التوزيع الموجودة والمصممة مستقبلا عن طريق البرامج المتوفرة حاليا بغرض معرفة مدى مطابقة عناصر الشبكات للغرض المصممة من أجله.

٢- الاهتمام بعمل نماذج تقييم أداء الشبكات ودراسة إمكانية اعتمادها فى الكود المصرى مع تبسيطها لتكون أداة للحكم على مدى صلاحية هذه الشبكات للتشغيل فى الفترة التصميمية لها.

References

[1] S. T. Coelho, and H. Alegre, "Performance analysis in water distribution". J. Water Supply, Vol. 16 (1-2), pp. 571-576 (1998).

[2] S. T. Coelho, "Water quality performance in distribution network". J. Water Supply, Vol. 16 (1-2), pp. 351-355 (1998).

[3] J. L. Demassue, "Measuring water distribution system performance". J. Water Supply, Vol. 14 (1), pp. 35-43. (1996).

[4] I. C. Goulter, "Systems analysis in water distribution network design: from theory to practice". J. Water Resour. Planning and Mgnt. ASCE, Vol. 118 (3), pp. 238-248 (1992).

[5] M. E. Bassiouny, "Reliability Analysis of Water Distribution System". Third Mansoura International Conference (3rd IMEC), Vol. 1, pp. 297 - 309 (2000).

[6] M. E. Bassiouny, and H. K. El-Etriby, "Modeling Residual Free Chlorine in Drinking Water Distribution Systems." Mansoura Engineering Journal (MEJ), Vol. 5 (1), pp. 1-13 Mar. (2000).

[7] M. E. Bassiouny, M. S. Negm, and M. H. Abdel Razik, "Modeling and Reliability Analysis of Water Distribution Networks." Journal of Engineering and Applied Science, Faculty of Engineering, Cairo University, Vol. 47 (3), pp. 503-517 June (2000).

Received August 9, 2000
Accepted January 15, 2001