University of Baghdad
College of Engineering
JOURNAL OF ENGINEERING

Journal of Engineering
journal homepage: www.jcoeng.edu.iq
Number 6 Volume 24 June 2018

إيجاد الموقع الأفضل لخزان مرتفع في شبكة متفرعة

د.ليث عبد العليم العناز
مدرس
كلية الهندسة/جامعة الموصل

الخلاصة

يركز البحث على تحديد أفضل موقع لخزان مرتفع في شبكة متفرعة باستخدام شحنة المضخة كمقياس لهذا الغرض. جرى اعتماد خمسة إشكال لشبكة التوزيع لمعرفة تأثير التباين في توزيع التصاريف المسحوبة ومنسوب نقطة الربط على الموقع الأفضل للخزان، تم تحديد النقطة الأضعف هيدروليكيا لكل شبكة واختبار (20) موقع للخزان على الأنبوب الرئيسي تفصل بينها مسافات متساوية، جرى عند كل موقع حساب منسوب المياه في الخزان وشحنة المضخة عند كل ساعة بالاعتماد على شحنة المضخة اللازمة لتحقيق الحد الأدنى من الضغط عند النقطة الأضعف هيدروليكيا ثم إيجاد المجموع الكلي لشحنات المضخة اللازمة خلال اليوم. أثبتت النتائج وجود موقع أكثر اقتصاديا من بقية المواقع يتحقق فيه اقل إضافة لشحنة المضخة وان هذا الموقع يرتبط بخط الأنابيب الحاوي على النقطة الأضعف هيدروليكيا وليس بالموقع الأكثر استهلاكا كما هو متعارف عليه إذ لا يحدث ذلك إلا إذا كان الموقع الأكثر استهلاكا هو نفسه الأضعف هيدروليكيا، كما أظهرت النتائج أن ابتعاد الخزان عن الموقع الأفضل باتجاه المضخة يؤدي إلى زيادة في الشحنة بمقدار يفوق الزيادة الناتجة عن الابتعاد بالاتجاه الآخر لذا فقد كان الموقع بجانب المضخة هو الموقع الأسوأ، كما بينت النتائج انه كلما كانت التصاريف الأعلى أكثر قربا من المضخة كلما كانت الشحنة اللازمة للمضخة اقل، وأن الشبكة ذات التوزيع المنتظم للتصاريف تحتاج إلى مقدار من شحنة المضخة اقل مما تحتاجه الأشكال الأخرى من الشبكات المعتمدة في البحث إذ كانت أدنى شحنة للمضخة لهذه الحالة (554)م في حين احتاجت الحالات التي كانت التصاريف الأعلى فيها على مسافة 200م، 400م، 1000م من محطة الضخ إلى شحنة مضخة بحد أدنى بلغ 651م، 682م، 726م على التوالي.

الكلمات الرئيسية : الخزان المرتفع – الموقع الأفضل– شبكة متفرعة.

Determination of Best Location for Elevated Tank in Branched Network

Layth Abdul-Aleem Alannz
Instructor
Engineering College-Mosul University
laythabdulaleem@yahoo.com

ABSTRACT

The research focuses on determination of best location of high elevated tank using the required head of pump as a measure for this purpose. Five types of network were used to find the effect of the variation in the discharge and the node elevation on the best location. The most weakness

*Corresponding author
Peer review under the responsibility of University of Baghdad.
https://doi.org/10.31026/j.eng.2018.06.09
2520-3339 © 2017 University of Baghdad. Production and hosting by Journal of Engineering.
This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).
Article accepted: 13/02/2018

point was determined for each network. Preliminary tank locations were chosen for test along the primary pipe with same interval distance. For each location, the water elevation in tank and pump head was calculated at each hour depending on the pump head that required to achieve the minimum pressure at the most weakness point. Then, the sum of pump heads through the day was determined. The results proved that there is a most economical location where the energy consumption is minimum. This location joined with the branched line that containing the most weakness point. The best location didn't join with the highest demand location unless this location containing the most weakness point. The results indicated that the moving of tank away from best location in pump direction result in pump head increasing that exceed the increasing in pump head when the tank moves in the opposite direction. The location of tank beside the pump station was the worst location. Also, the results showed that as the distance between the pump and the highest demand become shorter, the required pump head become less. The uniform demand distribution required the least amount of pump head, it required minimum head of (554)m while the networks, that have highest demand at distance 200m,400m, and 1000m from the pump station, required minimum head of 651m, 682m, and 726m respectively.
Key words : elevated tank, best location, branched network**.**

1.المقدمة ومراجعة المصادر

يعد خزان الخدمة من الأجزاء الأساسية لشبكة الإسالة إذ يوفر قابلية عالية على توفير المياه اللازمة للاستهلاك للأغراض المختلفة وفي مختلف الأوقات. ويهدف تصميمه وتشغيله بشكل رئيسي إلى مواجهة وتسوية التغاير في الاستهلاك وتوفير الضغوط المطلوبة(Seyoum et al, 2014).

إن من أشكال خزانات الخدمة هي الخزانات المرتفعة (Elevated tank) التي يفضل إنشاءها في المناطق التي يغلب عليها الاستواء إذ يمكن باستخدام هذه الخزانات توفير خزين كافي على ارتفاع مناسب يحقق حالة الطفو على النظام (Floating on the system)، وتتضمن الأمور التصميمية الرئيسية لهذه الخزانات (كما في بقية الأشكال) تحديد كل من الحجم، الموقع، مناسيب التشغيل(Mays, 2001).

بالنسبة لموقع الخزان فان العوامل التي تؤخذ بنظر الاعتبار عند اختياره هي منسوب الأرض، تأثير الموقع على قيم الضغط المتحققة في الشبكة، الموقع نسبة إلى مصدر المياه ومركز الاستهلاك، الموقع نسبة إلى محطة الضخ، وعدد من الأمور الأخرى كظروف الأساس (Foundation conditions) والتأثير على الرؤية (Omaha, 2001). بصورة عامة فان موقع الخزان يكون إما عند أو بالقرب من مصدر المياه (بئر آو محطة معالجة المياه) أو عند مركز المكان ذو الاستهلاك الأعلى للمياه أو عند طرف الموقع ذو الاستهلاك العالي بحيث يكون الموقع ذو الاستهلاك العالي بين المصدر والخزان، بالنسبة للموقع الأول فانه يكون مناسبا من الناحية الاقتصادية للتجمعات السكانية الصغيرة (اقل من 3300 نسمة) إذ أن المسافة تكون عادة قصيرة بين المصدر ومركز الاستهلاك، إلا أن هذا الموقع لا يحقق موازنة للضغط في المنطقة فالمساحات القريبة من الخزان تتعرض لضغوط أعلى من تلك البعيدة عنه، الموقع الثاني قد تجعله الاعتبارات الاقتصادية وإمكانية توفير الأرض الاختيار الأكثر منطقيا، إلا أن القرار النهائي يجب أن يتخذ بعد إجراء تحليل هيدروليكي، أما الموقع الثالث هو الأفضل بصورة عامة للخزان المرتفع إذ أن من مزاياه إمكانية إيصال المياه إلى المستهلك من اتجاهين وبالتالي يحقق استمرارية وصوله حتى عند انقطاعه من إحدى الجهتين (Davis, 2010) .

إن اختيار الموقع المناسب يجب أن يكون مبني على أسس صحيحة لا تحقق فقط الغاية المرجوة من إنشاء الخزان بل تتعداه لتشمل الجانب الاقتصادي أيضا. فالشبكة تتألف من ثلاثة عناصر أساسية هي الأنابيب والخزانات والمضخات، وبما

أن المضخات تشكل جزءا رئيسيا من منظومة توزيع المياه وتستهلك كميات كبيرة من الطاقة (Ibanez et al., 2008) فكمية الطاقة الكهربائية المستهلكة في مشاريع المياه تشكل حوالي (3)% من مجمل الطاقة الكهربائية المستهلكة في الدول المتقدمة كالولايات المتحدة والمملكة المتحدة وان حوالي (90)% من هذه الطاقة تستخدمها المضخات (Bunn and Reynolds 2009) لذا فقد انصب الاهتمام على تقليل هذه الطاقة قدر الإمكان نتيجة الزيادة السريعة التي حصلت في تكلفة الطاقة خلال العقود الأخيرة. ونظرا لارتباط عمل المضخات مع خزانات الخدمة لذا فقد تم اختيار موقع الخزان كمحدد لكمية الطاقة.

إن قدرة المضخة تعتمد على التصريف الذي تضخه والشحنة التي تضيفها لذا يمكن خفض القدرة المستهلكة من خلال محاولة تقليل الشحنة المضافة إلى أدنى حد ممكن وذلك بتغيير موقع الخزان إذ أن شحنة المضخة يمكن تغييرها في حين أن التصريف المطلوب لايمكن تغييره. إن أهداف البحث الرئيسية تتمثل في إيجاد الموقع الأفضل لخزان مرتفع يغذي شبكة إسالة من النوع المتفرع بالاعتماد على شحنة المضخة كمحدد، تحديد تأثير تغاير مواقع التصاريف على الموقع الأفضل للخزان، تحديد تأثير مكان النقطة الأضعف هيدروليكيا على الموقع الأفضل للخزان، وإيجاد أعلى منسوب لمياه الموازنة في الخزان وهو في موقعه الأفضل وفي مواقع أخرى.

2.خطة البحث والأسس النظرية

1.2. شبكة التوزيع والتصاريف المسحوبة

تم إنشاء شبكة من النوع المتفرع تتألف كما هو مبين بالشكل(1) من (18) أنبوب مصنوعة من الحديد اللدن (Ductile iron pipe) و(17) نقطة ربط (Node) ومضخة تغذي الشبكة بالمياه من المصدر، أقطار الأنابيب الفرعية والرئيسية تم اختيارها كما هو محدد في المواصفات (McGhee, 1991) (قطر كل أنبوب فرعي=152.4 ملم وقطر كل أنبوب رئيسي=304.8 ملم). تغذي هذه الشبكة لمجمع سكني يتألف من وحدات أحادية السكن بطابق واحد.

إن حجم الموازنة لخزان الخدمة يتم تحديده عادة على ضوء أقصى تصريف (استهلاك) يومي، لذا فقد تم في البحث اعتماد قيم للتصاريف المسحوبة من الشبكة ضمن النمط الموضح بالجدول (1) (Hammer and Hammer, 2008). إذ يظهر الجدول التصريف المسحوب من الشبكة خلال كل ساعة من ساعات ذلك اليوم كما يظهر قيمة معامل الضرب في الجدول عند كل ساعة ويساوي قيمة التصريف عند تلك الساعة مقسوما على معدل التصريف الساعي خلال اليوم ومقداره (117)لتر/ثا.

2.2. حجم الموازنة لخزان الخدمة

إن نمط الضخ الذي سوف يستخدم لضخ المياه بواسطة المضخة إلى الشبكة خلال الـ(24)ساعة هو الضخ بمعدل ثابت (Constant pumping rate) ويساوي معدل التصريف الساعي خلال اليوم الذي يحدث فيه أقصى استهلاك للمياه. إن مشاريع معالجة المياه عادة ما يتم تشغيلها على معدل ثابت نسبيا وكذلك الحال بالنسبة لمحطات الضخ إذ إنها تعمل بأحسن حالاتها عندما تشتغل مضخاتها بمعدل ثابت (Viessman and Hammer, 1985) .

واستنادا إلى مبدأ عمل الخزان وحسب الجدول (1) فان المضخة سوف تضخ المياه إلى الخزان وبقية أجزاء الشبكة من الساعة التاسعة (P.M) إلى الساعة السابعة (A.M) إذ يتجمع في الخزان خلال هذا الزمن التصريف الزائد عن التصريف المطلوب، إما في بقية الساعات فان التصريف المطلوب سوف يتم انجازه من خلال التصريف الذي تضخه المضخة والتصريف النازل من الخزان، إذ يسد تصريف النازل من الخزان العجز في التصريف المطلوب. وقد جرى اختيار الشكل

الاسطواني بقطر (20)م لخزان الخدمة في البحث إذ يحقق تغاير معقول مقداره (5.809)م في منسوب مياه الموازنة خلال اليوم (Mays, 2000). ويظهر الجدول (2) حجم المياه المخزونة أو المسحوبة من الخزان فضلا عن مقدار الزيادة أو النقصان في منسوب المياه في الخزان خلال ساعات اليوم.

إن حاصل جمع حجم المياه المضافة للخزان (والتي تساوي حاصل حجم المياه المسحوبة منه) يمثل حجم الموازنة للخزان ويساوي (1825.06)م^3 في حين يمثل حاصل جمع الزيادة في منسوب المياه في الخزان (والذي يساوي حاصل جمع الانخفاض في منسوب المياه في الخزان) مقدار التغاير في ارتفاع مياه الموازنة في الخزان ويساوي (5.809)م. ويعد الأسلوب أعلاه احد الطرق المتبعة في حساب حجم الموازنة للخزان المرتفع (Viessman and Hammer, 1985).

3.2. إيجاد النقطة الأضعف هيدروليكيا

تهدف شبكة التوزيع إلى إيصال المياه بالتصريف والضغط المطلوبين إلى جميع نقاط السحب في الشبكة وفي جميع الأوقات، إلا إن نقطة واحدة أو أكثر قد لا يتحقق فيها الضغط المطلوب على الإطلاق آو خلال فترة معينة. إن النقطة التي يحدث فيها أعلى انخفاض للضغط في الشبكة يمكن تسميتها بالنقطة الأضعف هيدروليكيا، وينبغي التحري عن هذه النقطة لبحث مدى إمكانية رفع شحنة المضخة لتحقيق الضغط المطلوب فيها مع مراعاة الاعتبارات الهندسية والاقتصادية لمحطة الضخ وخزان الخدمة.

إن هنالك العديد من العوامل التي تؤدي إلى خفض الضغط في أي نقطة في الشبكة منها الارتفاع في منسوب النقطة والزيادة في فقدان الشحنة خلال الانابيب الموجودة في المسافة المؤدية إلى النقطة والذي ينتج من [حسب معادلة دارسي وايزباخ (Darcy–Wiesbach equation) أو معادلة هيزن ويليامز (Hazen Williams)] (Vennard and Street, 1982) : زيادة طول الأنبوب (زيادة المسافة عن المصدر)، زيادة التصريف، تصغير قطر الأنبوب، زيادة خشونة سطح الأنبوب .

بعد اختيار الموقع الأول للخزان عند محطة الضخ والتحري عن النقطة الأضعف هيدروليكيا وتحديد مكانها ووقت حدوثها جرى تطبيق الخطوات التالية :

1–تحديد اتجاه وقيمة التصريف المار في كل أنبوب في الشبكة خلال كل ساعة من ساعات اليوم، إذ يعتمد نمط حركة المياه خلال الشبكة على كمية التصاريف المسحوبة، كيفية توزيعها، نمط تغايرها خلال ساعات اليوم، موقع الخزان المرتفع، وعلى نمط الضخ.

2–حساب شحنة المضخة اللازمة لتحقيق الضغط المطلوب عند النقطة الأضعف هيدروليكيا وذلك بتطبيق معادلة برنولي (Cengel and Cimbala, 2006) بين سطح الماء في المصدر (1) [الشكل (1)] وبين النقطة الأضعف هيدروليكيا (Nx) التي قد تكون أي نقطة ربط في الشبكة :

$$(P_1/\gamma) + Z_1 + Hp = (PNx/\gamma) + ZNx + \Sigma\, h_{L(1-Nx)} \quad (1)$$

3–حساب منسوب المياه في الخزان وفقا لشحنة المضخة عند ذلك الوقت وذلك بتطبيق معادلة برنولي بين سطح المياه في المصدر وسطح المياه في الخزان (y):

$$(P_1/\gamma) + Z_1 + Hp = (Py/\gamma) + Zy + \Sigma\, h_{L(1-y)} \quad (2)$$

جرى استخدام معادلة هيزن ويليامز (Hazen Williams equation) في إيجاد الفقدان بالشحنة في كل أنبوب من الأنابيب الموجودة بين أي مقطعين :

$$h_L = 10.7 \times (Q/C)^{1.852} \times (L/D^{4.871}) \quad (3)$$

4-حساب منسوب الخزان عند كل وقت من الأوقات الـ (23) الأخرى وفقا لما هو محدد في الجدول (2).
5-حساب شحنة المضخة المقابلة لكل منسوب للخزان عند كل وقت وذلك بتطبيق معادلة (2).
6-إيجاد حاصل جمع شحنات المضخة المحسوبة عند الأوقات الـ (24).
7-تغيير موقع الخزان وذلك بنقله مسافة (50)م على الأنبوب الرئيسي ابتعادا عن المضخة وإعادة الخطوات من الخطوة (1).

تضمن البحث تحديد الموقع الأفضل لخزان الخدمة المرتفع للشبكة المتفرعة [شكل(1)] مع تطبيق خمسة حالات عليها، في الحالات الثلاثة الأولى يكون التصريف الكلي غير متساوي التوزيع على نقاط الربط إلا إن قيم التصاريف لخطوط الأنابيب الفرعية هي نفسها مع تغيير مواقعها، وفي الحالة الرابعة يكون التصريف الكلي متساوي التوزيع على نقاط الربط مع أطوال متساوية للأنابيب الفرعية، أما الحالة الخامسة للشبكة فهي نفسها إحدى حالات التوزيع غير المنتظم مع رفع منسوب إحدى نقاط الربط (6)م عن منسوب المضخة. ويظهر الشكل(2) الحالات الخمسة للشبكة وموقع النقطة الأضعف هيدروليكيا.

إن قيم التصاريف المبينة في الشكل (2) تمثل معدل التصاريف المسحوبة من الشبكة خلال اليوم إذ يساوي مجموعها (117)لتر/ثا، أما التصريف الفعلي المسحوب من كل نقطة ربط عند كل ساعة من ساعات اليوم فيساوي معدل التصريف عند تلك النقطة مضروبا في معامل الضرب المبين في الجدول (1). إذ يستفاد من معرفة التصاريف الفعلية المسحوبة عند كل ساعة في تحديد التصاريف التي تمر في الأنابيب لكل حالة من الحالات الخمسة للشبكة عند تلك الساعة وذلك لغرض إدخالها في حسابات الفقدان بالشحنة خلال هذه الساعة ووفقا لما هو مبين في الخطوات أعلاه.

إن أعلى فقدان للشحنة يحصل في الشبكة في الوقت الذي يجري فيه أعلى تصريف خلال اليوم، وحسب الجدول (1) فان أعلى طلب للمياه يحصل عند الساعة P.M (6-7) لذلك فان النقطة الأضعف هيدروليكيا ظهرت عند ذلك الوقت. لذلك فقد تم تحديد شحنة المضخة وارتفاع الخزان بتطبيق الخطوة (1) والخطوة (2) على التوالي في ذلك الوقت وعند تلك النقطة.

3.النتائج والمناقشة

جرى اختيار مواقع للخزان على الأنبوب الرئيسي في كل حالة من حالات الشبكة المتفرعة المذكورة أنفا وذلك ابتداءا من موقع محطة الضخ وانتهاءا بطرف الأنبوب عند نقطة الربط (N16) بمسافة فاصلة مقدارها (50)م بين موقع وأخر، لذلك فقد كان عدد المواقع في كل حالة هو (20) موقع. وقد جرى في كل موقع حساب شحنة المضخة ومنسوب المياه في الخزان عند كل ساعة من ساعات اليوم. إذ تم استخدام نظام مايكروسوفت المكتبي اكسل (Excel) في جدولة وتنظيم البيانات وعمل الحسابات كما تم استخدام برنامج تحليل الشبكات المعروف ايبانيت (EPAnet Software) للتأكد من صحة النتائج.

إن تأثير موقع الخزان على الشحنة الكلية للمضخة اللازم توفيرها خلال اليوم يظهر من خلال الشكل (3)، إذ يلاحظ حدوث القيمة الأدنى للشحنة في موقع للخزان عند نقطة ربط معينة على الأنبوب الرئيسي للشبكة – يمكن تسميت ذلك الموقع

بالموقع الأفضل – إذ تزداد هذه القيمة كلما ابتعد موقع الخزان عن ذلك الموقع إلا أن هذه الزيادة تكون أعلى مع ابتعاد الخزان باتجاه المضخة. وفي كلا الحالتين (الابتعاد عن الموقع الأفضل باتجاه المضخة أو بالاتجاه الآخر) يزداد ميل الخط المستقيم كل (200)م وهي طول الأنبوب الرئيسي بين نقطة ربط وأخرى، وقد جعل ذلك موقع الخزان بجانب المضخة هو الموقع الأكثر استهلاكا للطاقة أو كما يمكن تسميته بالموقع الأسوأ، كما يتبين من النتائج أن الموقع الأفضل في حالة التوزيع غير المتساوي للاستهلاك يكون عند خط الأنابيب الفرعية الأكثر استهلاكا وهو يتفق مع أن موقع خزان الخدمة يكون في حالة التطبيق الجيد بالقرب من أعلى طلب على المياه (Salvato et al, 2003)، ففي الحالات الثلاثة الأولى للشبكة التي كانت فيها أعلى التصاريف على مسافة 200م، 400م، 1000م من محطة الضخ كان الموقع الأفضل للخزان على نفس المسافة من محطة الضخ.

إن ارتباط الموقع الأفضل للخزان مع خط الأنابيب الأكثر استهلاكا لا يحدث إلا إذا كان ذلك الخط حاويا على النقطة الأضعف هيدروليكيا، وقد تم إثبات ذلك من خلال شبكة هي نفسها الشبكة التي يكون فيها أعلى استهلاك على بعد (400)م من المضخة ولكن باستثناء جعل منسوب نقطة الربط (N12) يرتفع عن منسوب المضخة بمقدار (6)م إذ أدى ذلك إلى جعل نقطة الربط (N12) هي الأضعف هيدروليكيا بعد أن كانت نقطة الربط (N6) هي الأضعف، وترافق ذلك مع انتقال الموقع الأفضل للخزان من نقطة الربط (N7) الموجودة على مسافة (400)م من المضخة والتي تكون ضمن خط الأنابيب الفرعية الأكثر استهلاكا إلى نقطة الربط (N13) الموجودة على مسافة (800)م من المضخة والتي تكون ضمن خط الأنابيب الفرعية الذي يضم نقطة الربط (N12) كما هو موضح في الشكل (3).

كما يلاحظ من المنحنيات الخاصة بالحالات الأولى للشبكة في الشكل (3) انه كلما كان خط الأنابيب الفرعية الأكثر استهلاكا اقرب إلى محطة الضخ كلما كانت الشحنة الكلية للمضخة اقل وذلك عند جميع مواقع الخزان بما فيها الموقع الأفضل. كما يظهر من الشكل (3) أيضا أن التوزيع المتساوي للاستهلاك كان هو الأفضل من ناحية كمية الشحنة اللازمة للمضخة إذ كانت الشحنة لهذه للشبكة هي الأقل عند مواقع الخزان الـ (20) جميعها.

أما تأثير موقع الخزان على المنسوب العلوي لمياه الموازنة في الخزان وذلك للحالات الخمسة للشبكة فيمكن ملاحظتها في الشكل (4)، إذ يظهر من الشكل أن المنحنيات تشبه منحنيات الشحنة الكلية للمضخة من ناحية انخفاضها مع ابتعاد موقع الخزان عن المضخة وصولا إلى نقطة الربط المرتبطة بالنقطة الأضعف هيدروليكيا إذ يحصل عند تلك النقطة اقل قيمة للمنسوب العلوي لمياه الموازنة في الخزان.

إن تفسير النتائج أعلاه يرتبط بنتائج خطوات البحث (2) و (3) و (4) المذكورة سابقا، فنتائج الخطوة (2) المبينة على هيئة المنحنيات في الشكل (5) تظهر أن شحنة المضخة اللازمة لتحقيق شحنة الضغط المطلوبة في النقطة الأضعف هيدروليكيا إما تقل مع زيادة المسافة بين الخزان والمضخة إلى أن تصل إلى قيمة ثابتة أو أنها تستمر في الانخفاض، أن السبب في ذلك يعزى إلى أن التغيير الذي يحصل في المعادلة (1) مع زيادة المسافة بين الخزان ومحطة الضخ هو ليس في عدد الحدود الخاصة بإيجاد الفقدان بالشحنة بل في مقدار الفقدان بالشحنة الذي يقل تدريجيا بسبب الانخفاض في تصاريف الأنابيب المحصورة بين المصدر والنقطة الأضعف هيدروليكيا إلى أن يتجاوز الخزان موقع خط الأنابيب الحاوي على النقطة الأضعف هيدروليكيا لتبقى بعدها قيم التصاريف ثابتة في المعادلة، وتوضح الفقرات التالية تفاصيل ذلك من خلال اخذ إحدى حالات الشبكة كمثال.

في حالة الشبكة التي تكون فيها أعلى التصاريف على مسافة (400)م من المضخة فان النقطة الأضعف هيدروليكيا هي (N6) فتكون المعادلة (1) بالشكل التالي :

$$Hp= 15.306 + h_{L(P2)} + h_{L(P5)} + h_{L(P6)} \quad (4)$$

يختصر الشكل (6) عدد مواقع الخزان (في حالة الشبكة التي تكون فيها أعلى التصاريف على مسافة (400)م) من عشرين إلى ستة مواقع ويبين قيم التصاريف واتجاهاتها عند الزمن (6-7) بعد الظهر، إذ يظهر من الشكل أن مع انتقال الخزان من موقعه الأول بجوار المضخة إلى الطرف الآخر للشبكة فان قيمة التصريف لكل من الأنبوبين (P5) و(P2) تقل مع استمرار انتقال موقع الخزان وصولا إلى (N7) ضمن خط الأنابيب الحاوي على (N6) وبالتالي فان قيمة كل من $h_{L(P2)}$ و $h_{L(P5)}$ سوف تقل تبعا لذلك خلال هذه المسافة مما يؤدي إلى انخفاض قيم الـ (Hp)، ولكن عند زيادة المسافة عن (400)م فان شحنة المضخة تبقى ثابتة نظرا لثبوت قيمة التصريف لكل من الأنبوبين (P5) و(P2).

أما نتائج الخطوة (3) المتعلقة بقيمة منسوب مياه الخزان المقابل لشحنة المضخة اللازمة لتحقيق الضغط المطلوب فهي مبنية على نتائج الخطوة السابقة إذ أنها تمثل الشحنة المذكورة للمضخة مطروحا منها الفقدان بالشحنة بين المضخة والخزان [معادلة (2)] لذا يلاحظ أن منحنياتها المبينة في الشكل (7) إما تستمر بالانخفاض أو أنها (تنخفض بشكل واضح في البداية ثم تنخفض بميل بسيط ثم ترتفع في الجزء الأخير منها)، ويعزى الانخفاض البسيط الذي يحدث بعد الانخفاض الأولي العالي إلى زيادة الفقدان بالشحنة بين الخزان والمضخة مع زيادة المسافة بينهما، أما الارتفاع في الجزء الأخير فيعزى إلى نقصان الفقدان بالشحنة بسبب تشكل جريان معاكس للمياه في الأنبوب الرئيسي ما بعد المسافة (600)م أو (800)م من المضخة. فمثلا للشبكة التي تكون فيها أعلى التصاريف على مسافة (400)م من المضخة فان المعادلة (2) تكون :

$$Zy = Hp + \Sigma\, h_{L(1-y)} \quad (5)$$

وبتعويض المعادلة (4) في المعادلة (5) تتشكل المعادلة (6) التالية للمواقع الستة المبينة في الشكل (6) :

$$Zy = 15.305 + h_{L(P6)} + h_{L(P5)} + h_{L(P2)} \quad (a-6)$$
$$Zy = 15.305 + h_{L(P6)} + h_{L(P5)} \quad (b-6)$$
$$Zy = 15.305 + h_{L(P6)} \quad (c-6)$$
$$Zy = 15.305 + h_{L(P6)} - h_{L(P8)} \quad (d-6)$$
$$Zy = 15.305 + h_{L(P6)} - h_{L(P8)} + h_{L(P11)} \quad (e-6)$$
$$Zy = 15.305 + h_{L(P6)} - h_{L(P8)} + h_{L(P11)} + + h_{L(P11} \quad (f-6)$$

تفسر المعادلات الثلاثة الأولى أعلاه (a-6) و(b-6) و(c-6) الهبوط العالي في قيمة (Zy) خلال الـ (400)م الأولى في حين تفسر المعادلة (d-6) الهبوط القليل الإضافي في قيمة (Zy) خلال الـ (200)م التالية، أما الارتفاع البسيط الذي يحدث بعد هذه المسافة فهو بسبب التصاريف ذات الاتجاه المعاكس التي تتشكل في الأنبوبين (P11) و(P14) إذ تؤدي هذه التصاريف إلى نقصان الفقدان بالشحنة خلال المسافة الـ (400)م الأخيرة كما هو موضح في المعادلتين (e-6) و(f-6).

ومن الجدير بالملاحظة فان هيئة منحنيات الشكل (7) هي نفسها هيئة منحنيات الشكل (4) وذلك لان أعلى منسوب لمياه الخزان الذي يتشكل عند الساعة (7–8)صباحا يرتفع عن منسوب مياه الخزان الذي يتشكل عند الساعة (6–7) بعد الظهر بمقدار (4.082)م وذلك في جميع الحالات حسب الجدول (2)، فأي ارتفاع أو انخفاض في منسوب مياه الخزان المقابل لشحنة المضخة عند الساعة (6–7) بعد الظهر يرافقه نفس المقدار من التغيير في كل منسوب من مناسيب المياه عند بقية الأوقات وهو ما جرى حسابه ضمن الخطوة (3).

وبالنسبة لشحنة المضخة خلال بقية الأوقات فإنها تساوي حسب معادلة (2) منسوب الخزان زائدا الفقدان بالشحنة بين الخزان والمضخة عند ذلك الوقت، لذا فان التغيير في مناسيب مياه الخزان مع ابتعاد موقع الخزان عن المضخة سوف يؤثر مباشرة على مجموع شحنات المضخة خلال اليوم، وعلى هذا الأساس فان المجموع الكلي لشحنات المضخة يقل مع استمرار انتقال موقع الخزان إلى موقع خط الأنابيب الحاوي على النقطة الأضعف هيدروليكيا ثم يزداد بعد ذلك الموقع بسبب الزيادة في فقدان الشحنة الذي يفوق الانخفاض البسيط في مناسيب مياه الخزان الذي يحدث في الحالات الثلاثة للشبكة.

إن الاختلاف في نمط التصاريف المسحوبة من نقاط الربط كان له الأثر الجلي على مجموع الكلي لشحنة المضخة خلال اليوم، فكلما ازدادت التصاريف الأعلى بعدا عن المضخة كلما ازدادت الحاجة إلى توفير شحنة إضافية للمضخة لسد الزيادة في فقدان الشحنة الذي يحصل نتيجة حركة التصاريف الأعلى مسافة أطول خلال الأنابيب للوصول إلى نقاط السحب، وقد بدا ذلك واضحا في الشكل (3) سواء للمواقع الثلاث للتصريف الأعلى أو التوزيع المتساوي للتصاريف، فعلى الرغم من نقطة السحب (N15) كانت هي النقطة الأضعف هيدروليكيا في حالة الشبكة ذات التصريف الأعلى بمسافة (1000)م من المضخة وكذلك في حالة الشبكة ذات التوزيع المنتظم إلا أن الفرق في الشحنة الكلية للمضخة بين الحالتين كان كبيرا.

1.3. تأثير منسوب نقطة الربط والضغط المطلوب على الموقع الأفضل

إن تغاير منسوب أي نقطة الربط يؤثر على موقع الخزان الأفضل إذا كان هذا التغيير – الارتفاع حصرا – يؤدي إلى جعل تلك النقطة هي الأضعف هيدروليكيا كما حصل عند رفع منسوب نقطة الربط (N16)، أما تغيير منسوب النقطة الأضعف هيدروليكيا فانه يستوجب تغيير شحنة المضخة ومنسوب مياه الخزان بنفس المقدار في كل ساعة، فعلى سبيل المثال إذا ارتفعت النقطة الأضعف هيدروليكيا نصف متر فان المجموع الكلي لشحنات المضخة خلال اليوم ينبغي أن يزداد بمقدار (0.5 × 24)م ومنسوب المياه في الخزان ينبغي أن يرتفع بمقدار نصف متر عند أي ساعة من ساعات اليوم.

وكذلك الحال عند زيادة الحد الأدنى لشحنة الضغط فإنها لا تؤثر على موقع الخزان الأفضل، فإذا أريد زيادة شحنة الضغط في النقطة الأضعف هيدروليكيا من (15.306)م إلى (21.107)م (Selecky and Clifford, 2009) والذي يعادل (240)باوند/انج^2 يتم عندئذ رفع كل من شحنة المضخة ومنسوب مياه الخزان عند كل ساعة بمقدار الزيادة اللازم انجازها في شحنة الضغط وتساوي الفرق بين الشحنتين وهي(5.801)م.

4. الاستنتاجات

1– إمكانية اعتماد شحنة المضخة كمقياس في تحديد الموقع الأفضل اقتصاديا لخزان الخدمة المرتفع فالموقع الأفضل هو الذي يتطلب اقل مقدار من شحنة المضخة اللازمة لتوفير الضغط والتصريف المطلوبين في نقاط الشبكة المختلفة.

2– إن موقع الخزان الأفضل يعتمد بالدرجة الأساس على موقع النقطة الأضعف هيدروليكيا إذ يكون هذا الموقع على الأنبوب الرئيسي الأقرب إلى النقطة الأضعف هيدروليكيا.

3- لا يرتبط موقع الخزان الأفضل مع الموقع الأكثر سحبا للمياه إلا إذا تضمن ذلك الموقع النقطة الأضعف هيدروليكيا.

4- إن ابتعاد الخزان عن الموقع الأفضل له باتجاه المضخة يؤدي إلى زيادة في شحنة المضخة أكثر من الزيادة الناتجة من الابتعاد في الاتجاه الأخر، كما أن مقدار الزيادة يكبر في أي من الاتجاهين بعد المرور بمواقع سحب التصاريف، وتبعا لهيئة وأطوال الشبكة فقد كان الموقع الأسوأ هو بجانب محطة الضخ.

5- إن توزيع التصاريف المسحوبة بشكل متساوي على نقاط الشبكة يجعل من الشحنة اللازمة للمضخة اقل من تلك اللازمة لحالة التوزيع غير المتساوي للتصاريف.

6- في حالة التوزيع غير المتساوي للتصاريف فانه كلما كانت التصاريف الأعلى اقرب إلى محطة الضخ كلما احتاجت الشبكة إلى شحنة المضخة اقل.

7- عند أي موقع للخزان فان عملية حساب شحنة المضخة اللازمة لتحقيق الضغط المطلوب عند النقطة الأضعف هيدروليكيا تعد الأساس في إيجاد مناسيب مياه الخزان وشحنات المضخة الأخرى وبالتالي إيجاد المجموع الكلي للشحنات.

REFERENCE

- Bunn, S. M., and Reynolds, L., 2009, *The Energy-Efficiency Benefits of Pump-Scheduling Optimization for Potable Water Supplies*, IBM Journal of Research and Development, Vol. 53, No. 3.
- Cengel, Y. A. and Cimbala, J. M., 2006, *Fluid Mechanics : Fundamentals and Applications*, McGraw-Hill, Inc.
- Davis, M. L., 2010, *Water and Wastewater Engineering Design Principles and Practice*, McGraw-Hill, Inc.
- Hammer, M. J. and Hammer, M. J., 2008, *Water And Wastewater Technology*, 6th ed., Pearson Education, Inc.
- Ibanez, M., Prasad, T., and Paechter, B., 2008, *Ant Colony Optimization for Optimal Control of Pumps in Water Distribution Networks*, Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, Vol. 134, No. 4, PP. 334-346.
- Mays, L. W. (Editor), 2000, *Water Distribution Systems Handbook*, McGraw-Hill, Inc.
- McGhee, T. G., 1991, *Water Supply and Sewerage*, McGraw-Hill, Inc.
- Omaha, NE. (Editor), 2001, *Handbook of Public Water System*, 2nd ed., John Wiley and Sons, Inc.
- Salvato, J. A., Nemerow, N. L., and Agardy, F. J., 2003, *Environmental Engineering*, 5th ed., John Wiley and Sons, Inc.
- Selecky, M. and Clifford, D., 2009, *Water System Design Manual*, Washington state department of health.

- Seyoum, A. G., Tanyimboh, T. T., and Siew, C., 2014, *Optimal Tank Design and Operation to Improve Water Quality in Distribution System*, 11th International Conference on Hydroinformatics, City University of New York, USA.

- Vennard, J. K. and Street, R. L., 1982, *Elementary fluid mechanics*, 6th ed., John Wiley and Sons, Inc.

- Viessman, W. and Hammer, M. J., 1985, *Water Supply and Pollution Control*, 4th ed., Harper and Row Publishers.

الرموز

P_1/γ : شحنة الضغط عند سطح الماء في المصدر (1) (م).

Z_1 : منسوب سطح الماء في المصدر (1) (م).

Hp : شحنة المضخة (م).

PNx/γ : شحنة الضغط المطلوب تحقيقها عند النقطة الأضعف هيدروليكيا وتساوي أدنى شحنة ضغط مطلوبة (15.3)م.

ZNx : منسوب النقطة الأضعف هيدروليكيا (م).

$\Sigma h_{L(1-Nx)}$: المجموع الجبري للفقدان بالشحنة خلال الأنابيب الموجودة بين سطح الماء في المصدر وبين النقطة الأضعف هيدروليكيا (Nx) (م).

Py/γ : شحنة الضغط عند سطح الماء في الخزان المرتفع (م).

Zy : منسوب سطح الماء في الخزان المرتفع (م).

$\Sigma h_{L(1-y)}$: المجموع الجبري للفقدان بالشحنة للأنابيب الموجودة بين سطح الماء في المصدر وسطح الماء في الخزان (م).

h_L : مقدار الفقدان بالشحنة خلال الأنبوب (م).

D : قطر الأنبوب (م).

L : طول الأنبوب (م).

Q : تصريف الماء المار خلال الأنبوب ($م^3$/ثا).

C : معامل هيزن للأنبوب (C = 130 للأنبوب من الحديد اللدن المستخدم في البحث).

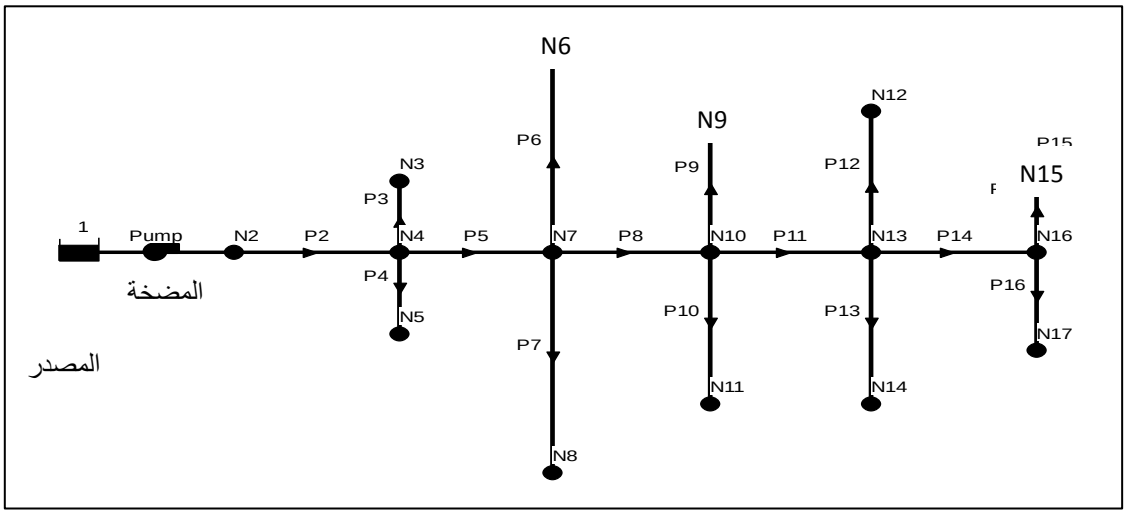
جدول(1) التصاريف المسحوبة من الشبكة عند اليوم ذي الاستهلاك الأقصى.

الوقت (ساعة)	التصريف ($م^3$/ثا)	معامل الضرب	الوقت (ساعة)	التصريف ($م^3$/ثا)	معامل الضرب
(1-12)A.M	54.288	0.464	(1-12)P.M	133.614	1.142
(2-1)	54.288	0.464	(2-1)	136.071	1.163
(3-2)	37.674	0.322	(3-2)	146.133	1.249
(4-3)	39.78	0.34	(4-3)	144.261	1.233
(5-4)	62.712	0.536	(5-4)	171.873	1.469
(6-5)	83.421	0.713	(6-5)	192.582	1.646
(7-6)	114.777	0.981	(7-6)	208.845	1.785
(8-7)	161.226	1.378	(8-7)	167.427	1.431

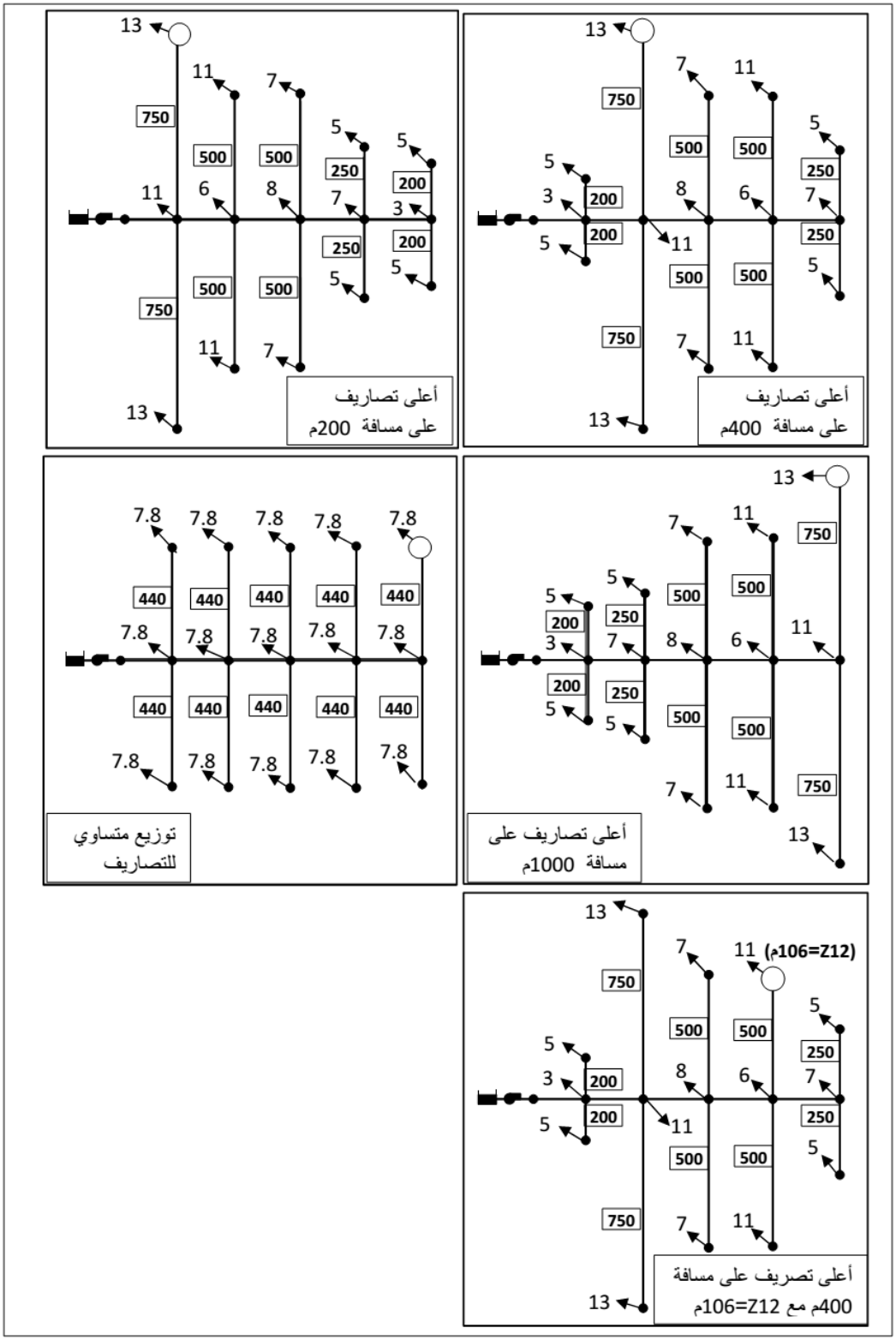
1.072	125.424	(9-8)	1.34	156.78	(9-8)
0.713	83.421	(10-9)	1.147	134.199	(10-9)
0.627	73.359	(11-10)	1.115	130.455	(11-10)
0.507	59.319	(12-11)	1.163	136.071	(12-11)

جدول (2) تصاريف المياه إلى الشبكة والى الخزان والتصاريف من الخزان إلى الشبكة مع أحجام المياه المضافة إلى الخزان والمسحوبة منه والتغاير في منسوب المياه في الخزان إزاء كل منها.

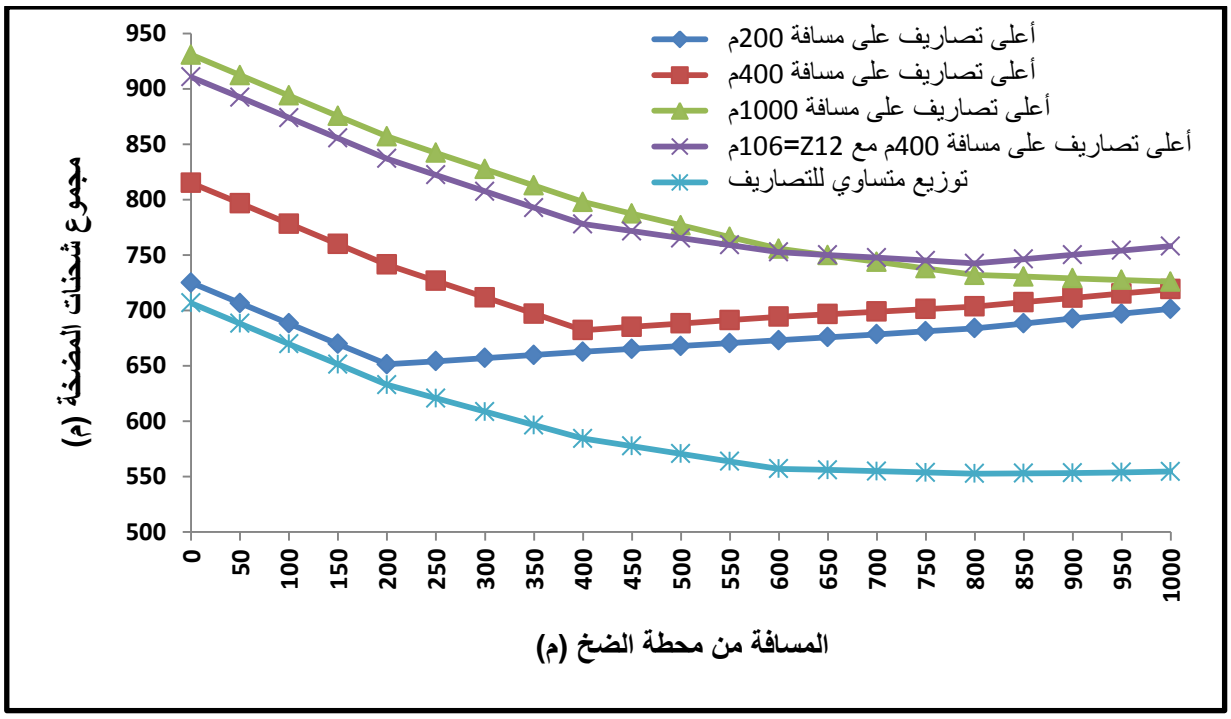
الوقت (ساعة)	التصريف إلى الشبكة (لتر/ثا)	التصريف إلى الخزان (لتر/ثا)	حجم المياه المضافة للخزان ($م^3$)	الزيادة في منسوب الخزان (م)	الوقت (ساعة)	التصريف إلى الشبكة (لتر/ثا)	التصريف من الخزان (لتر/ثا)	حجم المياه المسحوبة من الخزان ($م^3$)	الانخفاض في منسوب الخزان (م)
(10-9) P.M	83.421	33.579	120.8844	0.38479	(8-7) A.M	161.226	44.226	159.2136	0.5068
(11-10)	73.359	43.641	157.1076	0.50009	(9-8)	156.78	39.78	143.208	0.4558
(12-11)	59.319	57.681	207.6516	0.66098	(10-9)	134.199	17.199	61.9164	0.1971
(1-12) A.M	54.288	62.712	225.7632	0.7186	(11-10)	130.455	13.455	48.438	0.1542
(2-1)	54.288	62.712	225.7632	0.7186	(12-11)	136.071	19.071	68.6556	0.2185
(3-2)	37.674	79.326	285.5736	0.909	P.M (1-12)	133.614	16.614	59.8104	0.1904
(4-3)	39.78	77.22	277.992	0.8849	(2-1)	136.071	19.071	68.6556	0.2185
(5-4)	62.712	54.288	195.4368	0.6221	(3-2)	146.133	29.133	104.8788	0.3338
(6-5)	83.421	33.579	120.8844	0.3848	(4-3)	144.261	27.261	98.1396	0.3124
(7-6)	114.777	2.223	8.0028	0.0255	(5-4)	171.873	54.873	197.5428	0.6288
					(6-5)	192.582	75.582	272.0952	0.8661
					(7-6)	208.845	91.845	330.642	1.0525
					(8-7)	167.427	50.427	181.5372	0.5779
					(9-8)	125.424	8.424	30.3264	0.0965



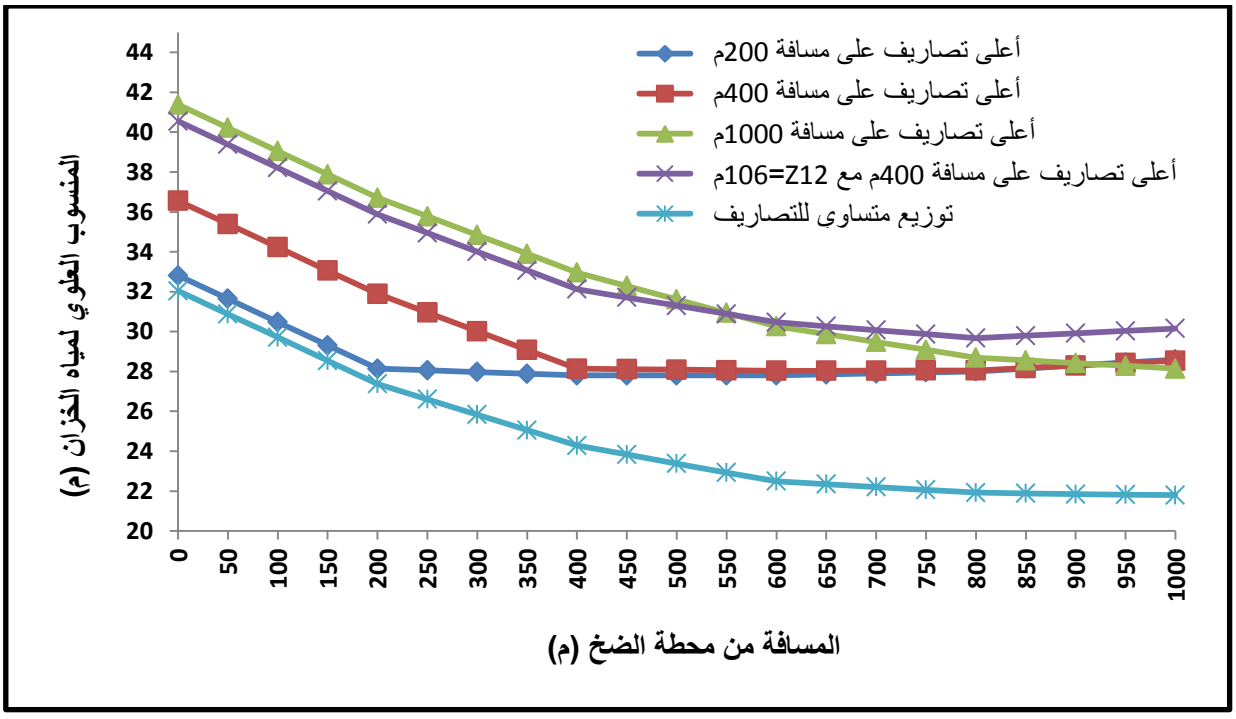
شكل (1) الهيئة العامة لشبكة توزيع مياه الإسالة المعتمدة في البحث.



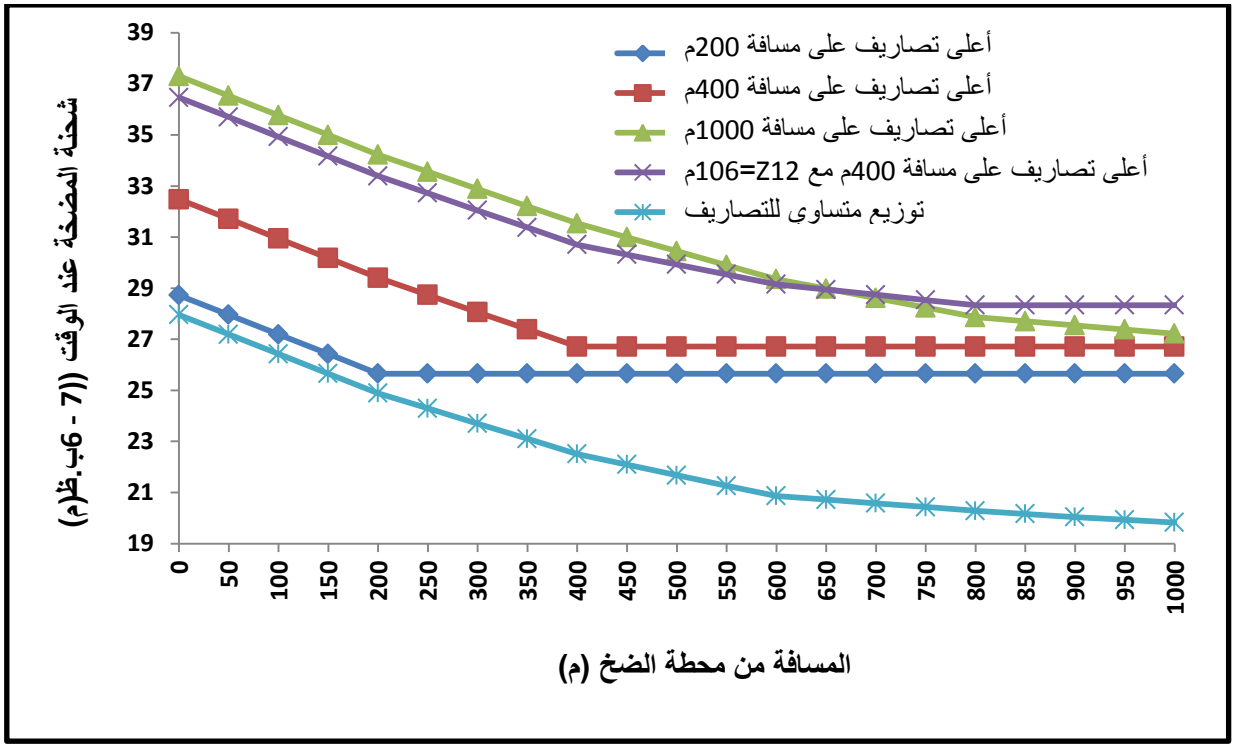
شكل (2) الحالات الخمسة للشبكة المتفرعة قيد البحث (التصاريف المسحوبة من نقاط الربط تمثل معدل التصاريف خلال اليوم وهي بوحدة (لتر/ثا)، أطوال الأنابيب الفرعية داخل المضلع بوحدة (م)، طول كل أنبوب رئيسي بين نقطتي ربط = 200م، نقاط الربط والمضخة ومصدر المياه جميعها ذات منسوب واحد، الدائرة المجوفة تمثل موقع النقطة الأضعف هيدروليكيا).



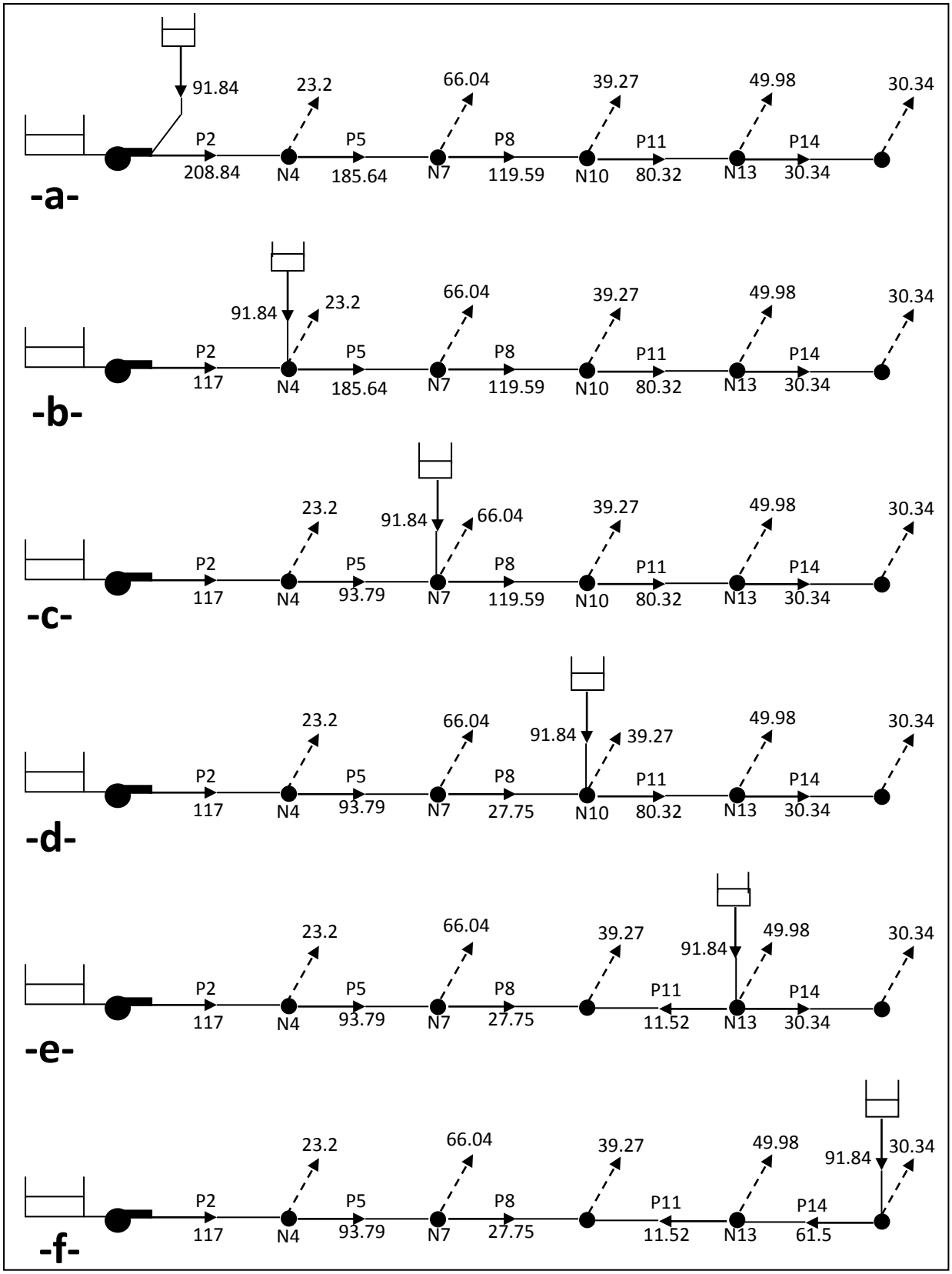
شكل(3) تأثير موقع الخزان على مجموع شحنات المضخة خلال اليوم.



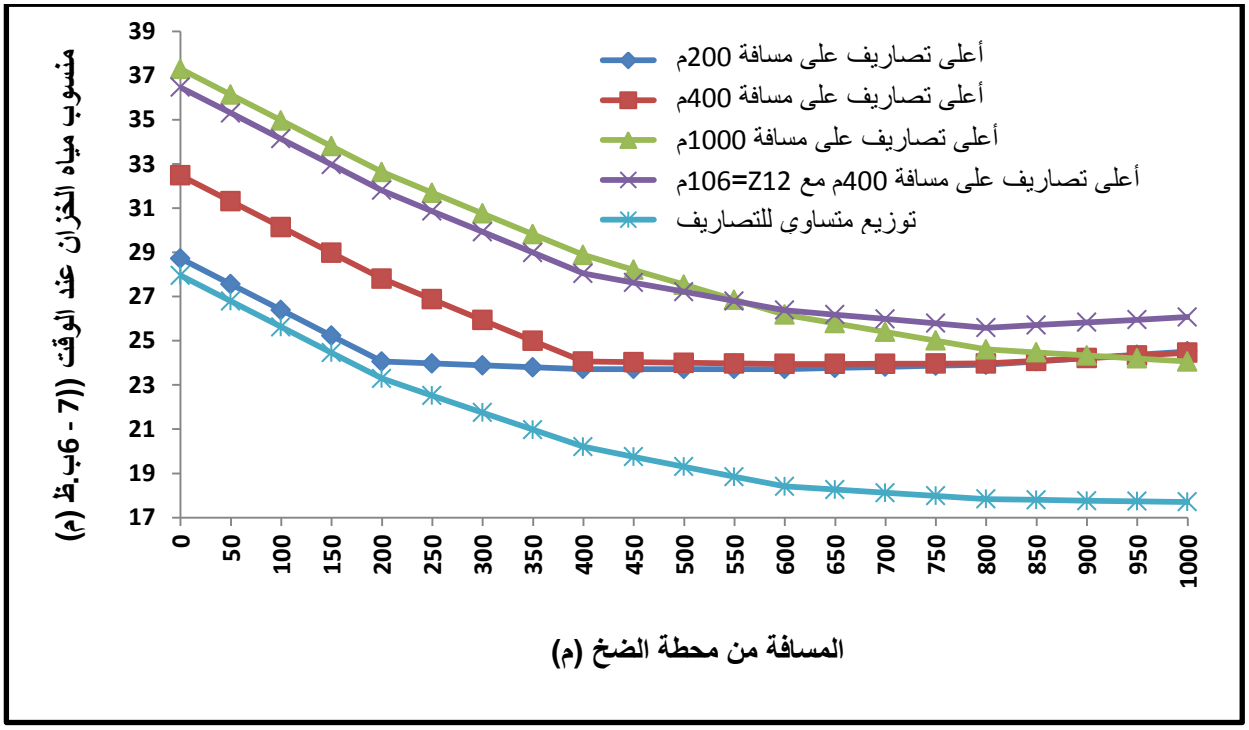
شكل (4) تأثير موقع الخزان على المنسوب العلوي لمياه الموازنة في الخزان.



شكل (5) تأثير موقع الخزان على شحنة المضخة اللازمة لتحقيق الضغط المطلوب عند النقطة الأضعف هيدروليكيا.



شكل (6) تصاريف المياه المارة في الأنابيب الرئيسية والتصاريف المسحوبة منها عند مواقع مختارة للخزان المرتفع في الساعة (6–7) بعد الظهر في حالة الشبكة التي تبعد أعلى التصاريف فيها (400)م عن محطة الضخ [التصاريف حسب الجدول (1) والجدول (2)].



شكل (7) تأثير موقع الخزان على منسوب مياه الخزان المقابل لشحنة المضخة اللازمة لتحقيق الضغط المطلوب عند النقطة الأضعف هيدروليكيا.