

Building a Mathematical Model for the Optimal Design of Pumping Stations Sewage Suction Basins Using Characteristic Method

Dr. Izzeddin Hassan *
Heba Affof**

(Received 8 / 2 / 2022. Accepted 29 / 5 / 2022)

□ ABSTRACT □

Drainage systems in some parts, such as collection basins, may contain regulators to regulate the water level in these basins. During the work of the pumping groups, an unstable flow movement arises, because the influx of sewage water is not fixed, but always changing. These unstable flows are studied by relying on modern numerical methods such as the network-variable characteristics method. This method gave satisfactory and good results in calculating these flows in an absorption basin of a pumping station located on a sewage collector at Jeresha station in Lattakia, and to test the dimensions of this basin. So that the pumps work optimally and in accordance with the water level in the basin with the ideal design dimensions, and the optimum time period was reached between two pumps taking off, as well as between two stops, thus choosing the optimal pumps and the economic dimensions of the basin. The calculation was done with the help of c sharp programs.

Keywords: pumping station, flow, characteristics method with variable nets(CHVN).

*Professor, Department of Water and Irrigation Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. / izzhassan@scs-net.org /

**Postgraduate Student (Masterr), Department of Water and Irrigation Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. / hebajamelaffof@tishreen.edu.sy /

بناء نموذج رياضي للتصميم الأمثل لأحواض الامتصاص لمحطات ضخ الصرف الصحي باستخدام طريقة المميزات

د. عز الدين حسن*

هبة عفوف**

(تاريخ الإيداع 8 / 2 / 2022. قَبْلُ للنشر في 29 / 5 / 2022)

□ ملخص □

يمكن أن تحتوي شبكات الصرف الصحي في بعض أجزائها مثل أحواض التجميع على منظمات لتنظيم منسوب الماء في هذه الأحواض. أثناء عمل مجموعات الضخ تنشأ حركة جريان غير مستقرة، لكون الغزارة القادمة من مياه الصرف الصحي غير ثابتة بل متغيرة دوماً. تتم دراسة الجريانات غير المستقرة هذه بالاعتماد على الطرق الرقمية الحديثة مثل طريقة المميزات متغيرة الشبكة، حيث أعطت هذه الطريقة نتائج مرضية وجيدة في حساب هذه الجريانات في حوض امتصاص لمحطة ضخ متوسطة على مجمع لمياه الصرف الصحي في محطة جريشة في مدينة اللاذقية، ولأختبار أبعاد هذا الحوض بحيث تعمل المضخات بشكل أمثل وبالتوافق مع منسوب الماء في الحوض ذي الأبعاد التصميمية المثالية، وتم التوصل الى الفترة الزمنية المثلى بين إقلاعين وإيقافين للمضخات، وبالتالي اختيار المضخات المثلى والأبعاد الاقتصادية للحوض. ولقد تم الحساب بمساعدة برامج بلغة c sharp.

الكلمات المفتاحية: محطة ضخ ، الجريان ، طريقة المميزات متغيرة الشبكة .

* أستاذ - قسم الهندسة المائية والري - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية. /izzhassan@scs-net.org

** طالبة دراسات عليا (ماجستير) - قسم الهندسة المائية والري - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية .

[/hebajamelaffof@tishreen.edu.sy/](mailto:hebajamelaffof@tishreen.edu.sy)

مقدمة:

تحتوي شبكات الصرف الصحي على مجتمعات للمياه من الأفقية والأنايبب الفرعية، حيث يركب عليها مجموعات ضخ تضخ المياه المتجمعة الى مناطق أعلى وصولاً الى محطات المعالجة [1,2]. ويمكن أن تكون هذه المجتمعات أحواض امتصاص لمحطات ضخ، حيث تكون فيها السرعة محدودة. ويكون جريان المياه القادمة من الأفقية أو الأنايبب التي تنتهي إلى هذه المجتمعات أو الأحواض غير مستقر نظراً لتغير بارامترات الجريان بشكل دائم تبعاً لطبيعة شبكات الصرف الصحي. [4,5,8]

لذلك يجب تجميع المياه في هذه الأحواض ومن ثم ضخها إلى محطات المعالجة، وتتم عملية الضخ حسب مناسيب المياه في هذه الأحواض. إذ يتم تحديد منسوب أدنى للمياه متناسب لامتناس المضاخات ومنسوب أعلى يحدد حسب العامل الاقتصادي للحوض ونوعية المضاخات ويراعى زمن مكوث هذه المياه في الأحواض. [3,7,9]

ونتيجة عمل المضاخات غير الدائم تنشأ في الحوض حركة جريان غير مستقر تؤدي الى تأرجح منسوب الماء في الحوض بين المنسوب الأدنى والأعلى المختارين بحسب التصميم. يجب أن يُدرس هذا التأرجح من خلال اجراء محاكاة رياضية وفق الطرائق الرقمية العددية مثل طريقة المميزات متغيرة الشبكة للوصول للتصميم الأمثل لهذه الأحواض بالاستناد على معادلات SAINT-VINANT. [6,9,10]

يركز البحث على التصميم الأمثل لأحواض الامتصاص لمحطات ضخ الصرف الصحي من خلال بناء نموذج رياضي باستخدام طريقة المميزات متغيرة الشبكة (CHVN)، وباستخدام لغة البرمجة C sharp، لتمكين المستخدمين من معرفة أسلوب عمل محطات الضخ وتزويدهم بالمعلومات اللازمة لاختيار المضاخات المناسبة حسب غزارة الضخ و حسب عدد مرات التشغيل.

أهمية البحث وأهدافه:

هدف البحث

إيجاد التصميم الأمثل لأحواض امتصاص محطات ضخ مياه الصرف الصحي بالعلاقة مع الغزارة القادمة ونوع المضاخات المستخدمة باستخدام طريقة المميزات متغيرة الشبكة.

أهمية البحث

تكمن أهمية البحث في وضع نموذج رياضي لحلّ معادلات (Saint-Venant) الحاكمة للجريان غير المستقر الناجم في مجتمعات الصرف الصحي وبلغة البرمجة C sharp وذلك للحصول على التصميم الأمثل والاقتصادي لأحواض امتصاص محطات ضخ الصرف الصحي.

طرائق البحث ومواده:

تمثل معادلتنا saint-Vinant معادلة الاستمرار (1) ومعادلة الحركة (2) العلاقات الأساسية لوصف الجريانات غير المستقرة المتغيرة تدريجياً بشكل عام في المجاري المائية، كما ويمكن استخدامها هنا لمحاكاة الجريان في أحواض الامتناس لمحطات ضخ الصرف الصحي والتي يمكن أن تحل بمساعدة الطرائق الرقمية الحديثة، وتكتب بالشكل المبسط:

$$\partial(Q)/\partial x = -\partial A / \partial t \quad (1)$$

$$g \cdot \frac{\partial z}{\partial x} + v \cdot \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial t} = g \cdot (I_s - v \cdot \frac{|v|}{M^2 \cdot R^{4/3}}) \quad (2)$$

A: مساحة المقطع العرضي للقناة، Q: التدفق في القناة، I_s : ميل القاع، R: نصف القطر الهيدروليكي، V: السرعة الوسطية للجريان، G: تسارع الجاذبية، M: معامل مانينغ.

الحل العددي لمعادلات saint-Vinant

قواعد طريقة المميزات

تستخدم طريقة المميزات كطريقة تكاملية وصفية فراغية أثناء انتشار الأمواج في أحواض الامتصاص، وتتطلب هذه الطرائق الحسابية الوصفية من الحقيقة بأن الاضطرابات الخفيفة في إحدى الأفضية لحالة الجريانات البطيئة تنتشر مع ويعكس التيار بسرعة محددة.

والمعادلات الأساسية لهذه الطرائق هي:

$$\frac{dx}{dt} = v + \sqrt{g \cdot \frac{A}{B}} \quad (\text{مميزات أمامية}) \quad (3)$$

$$\frac{dx}{dt} = v - \sqrt{g \cdot \frac{A}{B}} \quad (\text{مميزات تراجعية}) \quad (4)$$

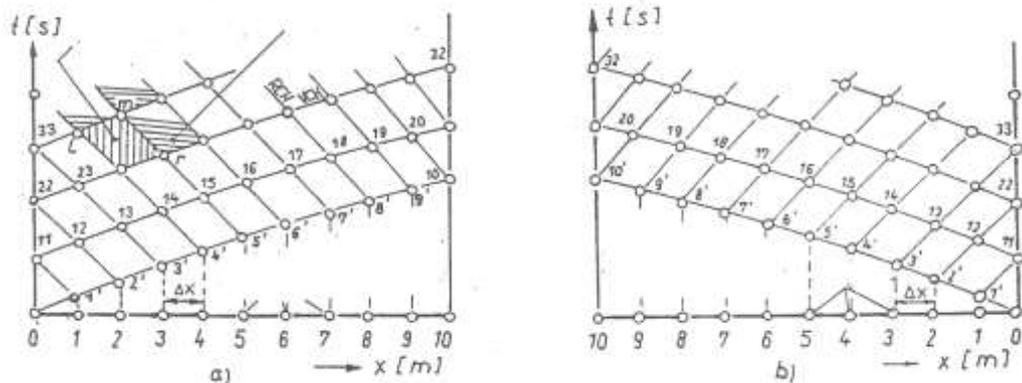
ويمكن الاستنتاج من العلاقات (1)، (2)، (3)، (4) وباعتبار كل من Z و v كرموز للمتحولات الأساسية في العلاقات الآتية:

$$\sqrt{g \cdot \frac{A}{B}} \cdot \frac{dv}{dt} + g \cdot \frac{dz}{dt} + g \cdot \frac{v}{B} \cdot \left(\frac{\partial A}{\partial x} \right)_{z=const} + \sqrt{g \cdot \frac{A}{B}} \cdot g \cdot \frac{v \cdot |v|}{Rg} = 0 \quad (5)$$

$$\sqrt{g \cdot \frac{A}{B}} \cdot \frac{dv}{dt} - g \cdot \frac{dz}{dt} - g \cdot \frac{v}{B} \cdot \left(\frac{\partial A}{\partial x} \right)_{z=const} + \sqrt{g \cdot \frac{A}{B}} \cdot g \cdot \frac{v \cdot |v|}{Rg} = 0 \quad (6)$$

حيث إن $c = \sqrt{g \cdot \frac{A}{B}}$ هي سرعة الأمواج (الاضطراب) و $Rg = M^2 \cdot R^{4/3}$ هو عنصر الاحتكاك.

توصف المعادلات (3)، (4)، (5)، (6) كمعادلات وصفية لمعادلات SV الأساسية (1)، (2)، (12).



الشكل (1): أشكال حساب المميزات

النموذج الرياضي

الحساب في النقاط الوسطية

بالنسبة للمتحوّلات الأساسية للمميزات الأمامية تحسب كالتالي: [11,12]

$$\frac{dx}{dt} \approx \frac{x_m - x_L}{t_m - t_L} \quad (7)$$

$$\frac{dz}{dt} \approx \frac{z_m - z_L}{t_m - t_L}$$

$$\frac{dv}{dt} \approx \frac{v_m - v_L}{t_m - t_L}$$

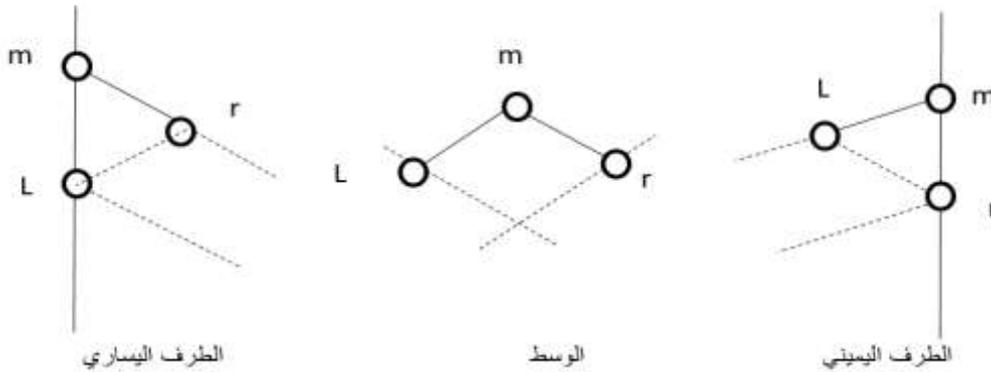
وللمميزات التراجعية

$$\frac{dx}{dt} \approx \frac{x_m - x_r}{t_m - t_r} \quad (8)$$

$$\frac{dz}{dt} \approx \frac{z_m - z_r}{t_m - t_r}$$

$$\frac{dv}{dt} \approx \frac{v_m - v_r}{t_m - t_r}$$

وذلك باعتبار (m, L, r) كنقاطٍ حسابيةٍ كما في الشكل (2)



الشكل (2): الوصفيات متغيرة الشبكة

من المعادلات (3)، (4)، (5)، (6) ينتج بشكل تقريبي

$$\frac{x_m - x_L}{t_m - t_L} = v_L + c_L \quad (9)$$

$$\frac{x_m - x_r}{t_m - t_r} = v_r - c_r \quad (10)$$

عندما تكون x_m و t_m مجهول، تُعوّض في العلاقات (5) و (6) فينتج

$$\frac{c_L \cdot (v_m - v_L)}{t_m - t_L} + \frac{g \cdot (z_m - z_L)}{t_m - t_L} + g \cdot v_L \cdot \frac{dL}{BL} + c_L \cdot g \cdot v_L \cdot \frac{|v_L|}{Rg_L} = 0 \quad (11)$$

$$\frac{c_r \cdot (v_m - v_r)}{t_m - t_r} + \frac{g \cdot (z_m - z_r)}{t_m - t_r} - g \cdot v_r \cdot \frac{dr}{Br} + c_r \cdot g \cdot v_r \cdot \frac{|v_r|}{Rg_r} = 0 \quad (12)$$

وذلك مع v_m و Z_m كمجاهيلٍ إضافيةٍ

$$c_L = \sqrt{g \cdot \frac{A_L}{BL}}, \quad c_r = \sqrt{g \cdot \frac{A_r}{Br}}$$

تُعطى سرعة الأمواج c_L و c_r من العلاقات التالية

$$dr = \frac{A_{mr} - A_r}{x_m - x_r} \quad dL = \frac{A_{mL} - A_L}{x_m - x_L}$$

مساحة الجريان عند النقطة m مع منسوب الماء في النقطة L

مساحة الجريان عند النقطة m مع منسوب الماء في النقطة r

مساحة الجريان عند النقطة L

مساحة الجريان عند النقطة r

تُحسب القيم x_m, t_m, Z_m, v_m بمساعدة العلاقات (9,10,11,12) والتي تُشكل جملة معادلاتٍ خطيةٍ.

كتقريبٍ أوليٍّ تُحسب القيم x_1, t_1, Z_1, v_1 من المعادلات التالية:

$$t_1 = \frac{t_L \cdot (v_L + c_L) - t_r \cdot (v_r + c_r) - (x_L - x_r)}{v_1 - v_r + c_r + c_L} \quad (13)$$

$$x_1 = x_L + (v_L + c_L) \cdot (t_1 - t_L) \quad (14)$$

$$v_1 = \frac{1}{c_r + c_L} \cdot (g \cdot (z_L - z_r) + v_L \cdot c_L + v_r \cdot c_r + g \cdot v_r \cdot \left(\frac{d_r}{B_r} - c_r \cdot \frac{|v_r|}{Rg_r} \right) \cdot (t_1 - t_r) - g \cdot v_L \left(\frac{d_L}{B_L} + c_L \cdot \frac{|v_L|}{Rg_L} \cdot (t_1 - t_L) \right) \quad (15)$$

$$z_1 = z_L - \frac{1}{g} \cdot \left[c_L \cdot (v_1 - v_L) + g \cdot v_L \left(\frac{d_L}{B_L} + c_L \cdot \frac{|v_L|}{Rg_L} \right) \cdot (t_1 - t_L) \right] \quad (16)$$

يُمكن الحصول على تقريبٍ مُحسَّنٍ وذلك بمساعدة العلاقات (9,10,14,15)

$$\frac{x_m - x_L}{t_m - t_L} = \frac{1}{2} \cdot (v_m + c_m + v_L + c_L) \quad (17)$$

$$\frac{x_m - x_r}{t_m - t_r} = \frac{1}{2} \cdot (v_m - c_m + v_r - c_r) \quad (18)$$

$$0.5 \cdot (c_m + c_L) \cdot \frac{(v_m - v_L)}{t_m - t_L} + \frac{g \cdot (z_m - z_L)}{t_m - t_L} + 0.5 \cdot \left(g \cdot \frac{v_m}{B_m} \cdot d_{Lm} + g \cdot c_m \cdot v_m \cdot \frac{|v_m|}{Rg_m} + g \cdot \frac{v_L}{B_L} \cdot d_L + g \cdot c_L \cdot v_L \cdot \frac{|v_L|}{Rg_L} \right) = 0 \quad (19)$$

$$0.5 \cdot (c_m + c_r) \cdot \frac{(v_m - v_r)}{t_m - t_r} - \frac{g \cdot (z_m - z_r)}{t_m - t_r} - 0.5 \cdot \left(g \cdot \frac{v_m}{B_m} \cdot d_{rm} - g \cdot c_m \cdot v_m \cdot \frac{|v_m|}{Rg_m} + g \cdot \frac{v_r}{B_r} \cdot d_r - g \cdot c_r \cdot v_r \cdot \frac{|v_r|}{Rg_r} \right) = 0 \quad (20)$$

هي توابع لمنسوب المياه وللموقع z_m, h_m المبحوث عنهم

تُحسب تغييرات مساحة الجريان d_{rm} و d_{Lm} كالتالي:

$$d_{rm} = \frac{A_m - A_{rm}}{x_m - x_r} \quad d_{Lm} = \frac{A_m - A_{Lm}}{x_m - x_L}$$

A_{Lm} مساحة الجريان عند النقطة L مع منسوب الماء في النقطة m

A_{rm} مساحة الجريان عند النقطة r مع منسوب الماء في النقطة m

A_m مساحة الجريان عند النقطة m

المعادلات (17,18,19,20) هي معادلات جبرية غير خطية مع المجاهيل x_m, t_m, z_m, v_m . تقترب القيم d_{Lm} و d_{rm} من القيم d_r و d_L عندما لا يختلف منسوب الماء كثيراً عند النقاط L, r من منسوب الماء عند النقطة m. لذلك اعتبرت القيم d_{Lm} و d_{rm} مساوية للقيم d_L و d_r في هذا العمل.

تُحلّ المعادلات عبر مرحلتين للتقريب المتتالي الشكل (1). خلال المرحلة الأولى تُحسب z_m, v_m وخلال المرحلة الثانية x_m, t_m .

تُسمى المرحلة الأولى التقريب الداخلي عند ذلك يُمكن حساب v_2 من المعادلتين (19,20)

$$v_2 = \frac{1}{c_r + c_L + 2 \cdot c_m} \cdot \left\{ 2 \cdot g \cdot (z_L - z_r) + (c_L + c_m) \cdot v_L + (c_r + c_m) \cdot v_r + \left[g \cdot v_r \cdot \left(\frac{d_r}{B_r} - c_r \cdot \frac{|v_r|}{Rg_r} \right) + g \cdot v_1 \cdot \left(\frac{d_r}{B_m} - c_m \cdot \frac{|v_1|}{Rg_m} \right) \right] \cdot (t_1 - t_r) - \left[g \cdot v_L \cdot \left(\frac{d_L}{B_L} + c_L \cdot \frac{|v_L|}{Rg_L} \right) + g \cdot v_1 \cdot \left(\frac{d_L}{B_m} + c_m \cdot \frac{|v_1|}{Rg_m} \right) \right] \cdot (t_1 t_L) \right\} \quad (21)$$

بتعويض v_2 في (19) نحصل على منسوب الماء z_2 :

$$z_2 = z_L - \frac{1}{2g} \cdot (c_L + c_m) \cdot (v_2 - v_L) + \left\{ v_L \cdot \left(\frac{d_L}{B_L} + c_L \cdot \frac{|v_L|}{Rg_L} \right) + v_2 \cdot \left(\frac{d_L}{B_m} + c_m \cdot \frac{|v_2|}{Rg_m} \right) \right\} \quad (22)$$

يُنهي التقريب بوضع حدّ دقّة لكلّ من المتحوّلات v و z

المرحلة الثانية تسمى التقريب الخارجي

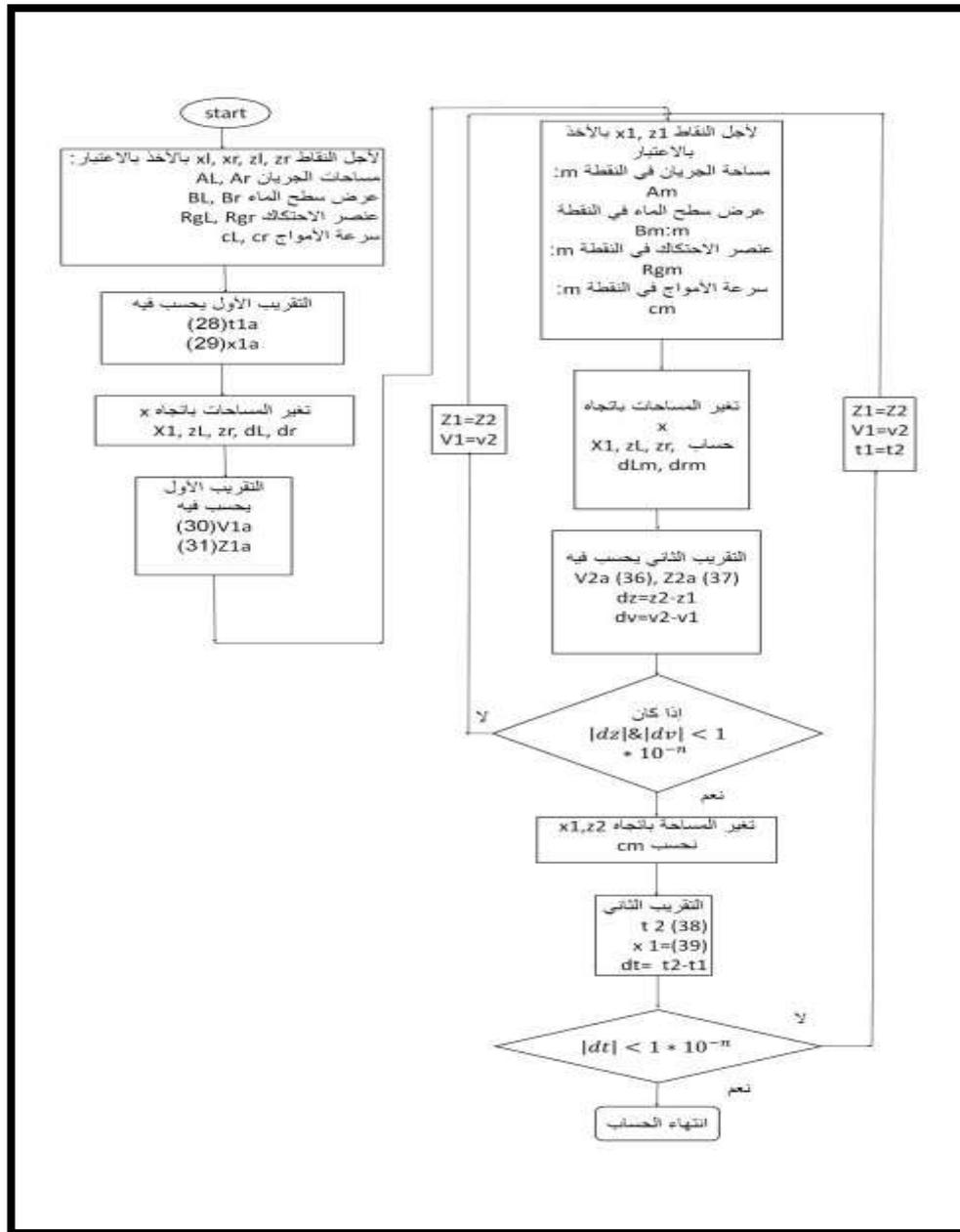
ينتج الزمن المطلوب t_2 من المعادلتين (17,18)

$$t_2 = \frac{[t_L \cdot (v_L + c_L + c_m + v_2) - t_r \cdot (v_r - c_r - c_m + v_2) - 2 \cdot (x_L - x_r)]}{v_L - v_r + c_L + c_r + 2 \cdot c_m} \quad (23)$$

بتعويض t_2 في العلاقة (17) تنتج قيمة x_1

$$x_1 = x_L + \frac{1}{2} \cdot (v_L + c_L + c_m + v_2) \cdot (t_2 - t_L) \quad (24)$$

ويوضح الشكل (3) المخطط النهجي لتسلسل الحساب في الوسط:



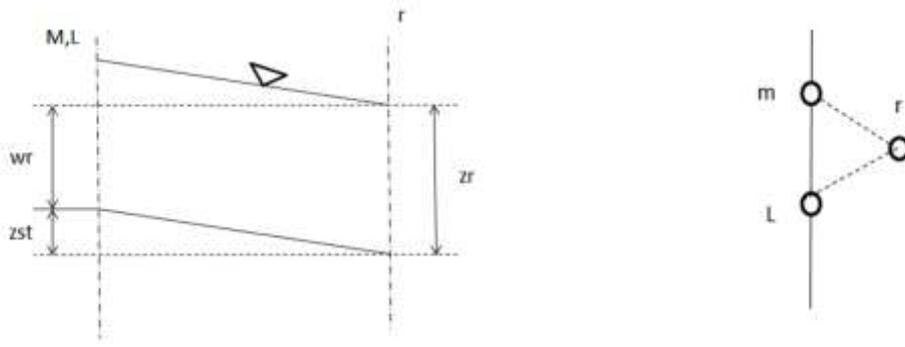
الشكل(3): مخطط نهجي لتسلسل الحساب في الوسط

الحساب عند الأطراف

الحساب عند الطرف اليساري

- منسوب الماء كتابع للزمن (شرط طرفي من الدرجة الأولى بالنسبة للزمن)

يُمكن أن تُحلَّ هذه الحالة بمساعدة مميزة تراجعيةٍ وشرطٍ طرفيٍّ عبر التقريب المُتتالي في مرحلتين. في المرحلة الأولى تُحسَب السرعة وفي المرحلة الثانية الزمن (i و i-1 خطوات تقريبية)، ويوضح الشكل (4) الطرف اليساري.



الشكل (4): الحساب عند الطرف اليساري

من العلاقة (18) ينتج الزمن $t_{m(i)}$

$$t_{m(i)} = t_r + 2 \cdot \frac{x_m - x_r}{v_r + v_{m(i-1)} - c_r - c_{m(i-1)}} \quad (25)$$

 $Z_{m(i)}$ تُحسب من منحنيات منسوب الماء عند الزمن $t_{m(i)}$ v_{mi} تُحسب كالتالي

$$v_{m(i)} = v_r + \frac{2 \cdot g}{c_{m(i)} + c_r} \cdot \left\{ Z_{m(i)} - z_r + 0.5 \cdot \left(v_{m(i-1)} \cdot \frac{dr}{B_{m(i)}} - c_{m(i)} \cdot v_{m(i-1)} \cdot \frac{|v_{m(i-1)}|}{Rg_{m(i-1)}} + v_r \cdot \frac{dr}{B_r} - c_r \cdot v_r \cdot \frac{|v_r|}{Rg_r} \right) \cdot (t_{m(i)} - t_r) \right\} \quad (26)$$

حيث أن مساحة تغير الجريان تُحسب كما يلي:

$$d_r = \frac{A_{mr} - A_r}{x_{m(i)} - x_r}$$

 A_{mr} : تحسب بدلالة منسوب الماء w_r

$$w_r = z_r - z_{sl}$$

$$z_{sl} = (L - x_{m(i)}) \cdot I_s$$

تُحسب القيم $B_{m(i)}$ ، $Rg_{m(i)}$ و $c_{m(i)}$ بدلالة $Z_{m(i)}$ يُنهى التقريب بعد الوصول في حساب قيمة v, t إلى الدقة المُختارة

$$dv = |v_{m(i)} - v_{m(i-1)}|$$

$$dt = |t_{m(i)} - t_{m(i-1)}|$$

- الغزارة كتابع للزمن (شروط طرفي من الدرجة الثانية بالنسبة للزمن)

تُستخدم هنا المعادلات (18-20)، وتُحسب قيمة $t_{m(i)}$ من المعادلة (25). يُمكن استنتاج قيمة الغزارة Q من منحنيات الغزارة بدلالة الزمن $t_{m(i)}$ ، وعندها يُمكن حساب منسوب الماء $Z_{m(i)}$ من إعادة صياغة العلاقة (20) إلى:

$$Z_{m(i)} = z_r + \frac{1}{2g} \cdot (c_{m(i-1)} + c_r) \cdot (v_{m(i-1)} - v_r) - 0.5 \cdot \left(v_{m(i-1)} \cdot \frac{dr}{B_{m(i-1)}} - c_{m(i-1)} \cdot v_{m(i-1)} \cdot \frac{|v_{m(i-1)}|}{Rg_{m(i-1)}} + v_r \cdot \frac{dr}{B_r} - c_r \cdot v_r \cdot \frac{|v_r|}{Rg_r} \right) \cdot (t_{m(i-1)} - t_r) \quad (26)$$

بمساعدة $Z_{m(i)}$ يُمكن حساب قيم $B_{m(i)}$, $Rg_{m(i)}$, $c_{m(i)}$, $A_{m(i)}$ [9]

ويُمكن تنفيذ التقريب المتتالي كشرط طرفي بشكلٍ مشابهٍ لمنسوب الماء.

- الغزارة كتابع لمنسوب الماء (شرط طرفي من الدرجة الثالثة)

يتم تنفيذ الحساب بشكلٍ مشابهٍ للحالة "منسوب الماء كتابع للزمن".

يجب حساب الزمن $t_{m(i)}$ من العلاقة (25)، وتُحسب قيمة $Z_{m(i)}$ من العلاقة (26). تُحدّد قيمة Q بدلالة $Z_{m(i)}$ من الشرط الطرفي. بعد ذلك يُمكن حساب $A_{m(i)}$, $c_{m(i)}$, $Rg_{m(i)}$. السرعة $v_{m(i)}$ تُحسب كالتالي

$$v_{m(i)} = \frac{Q_{m(i)}}{A_{m(i)}} \quad (27)$$

الحساب عند الطرف اليميني

- الغزارة كتابع للزمن (شرط طرفي من الدرجة الثانية بالنسبة للزمن)

يُمكن استنتاج قيمة Q من منحنيات الغزارة بدلالة الزمن $t_{m(i)}$.

ينتج $Z_{m(i)}$ من العلاقة (26) كالتالي:

$$Z_{m(i)} = z_L + \frac{1}{2g} \cdot (c_{m(i-1)} + c_r) \cdot (v_{m(i-1)} - v_r) - 0.5 \cdot (v_{m(i-1)} \cdot \frac{dL}{B_{m(i-1)}} + c_{m(i-1)} \cdot v_{m(i-1)} \cdot \frac{|v_{m(i-1)}|}{Rg_{m(i-1)}}) + v_L \cdot \frac{dL}{BL} + c_L \cdot v_L \cdot \frac{|v_L|}{RgL} \cdot (t_{m(i-1)} - t_L) \quad (28)$$

بمساعدة $Z_{m(i)}$ يُمكن حساب قيم $B_{m(i)}$, $Rg_{m(i)}$, $c_{m(i)}$, $A_{m(i)}$

السرعة $v_{m(i)}$ تُحسب كالتالي:

$$v_{m(i)} = \frac{Q_{m(i)}}{A_{m(i)}}$$

يجري التقريب المتتالي بصورةٍ مشابهةٍ لمنسوب الماء كتابع للزمن عند الطرف اليساري.

- الغزارة كتابع لمنسوب الماء (شرط طرفي من الدرجة الثالثة)

تنتج القيم $t_{m(i)}$, $Z_{m(i)}$ من العلاقات (28) ويُحدّد الشرط الطرفي بدلالة $Z_{m(i)}$ بعد ذلك يُمكن حساب القيم $A_{m(i)}$,

$v_{m(i)}$, $Rg_{m(i)}$, $c_{m(i)}$

$$v_{m(i)} = \frac{Q_{m(i)}}{A_{m(i)}} \quad \text{حيث أن}$$

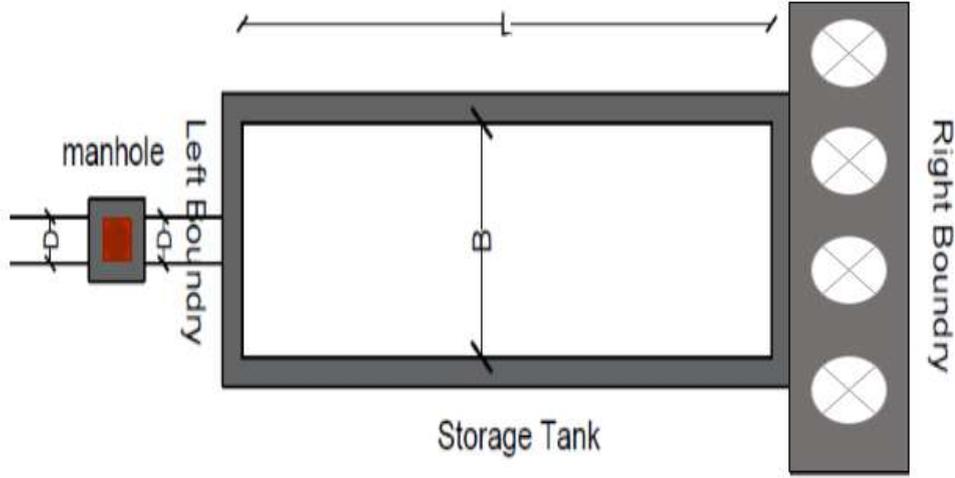
النتائج والمناقشة:

يصف البرنامج الحاسوبي الذي صمّمناه نموذجاً رياضياً حاسوبياً لمحاكاة الجريان في حوض تجميع مياه الصرف

الصحي في محطة ضخ الجريشة وهو عبارة عن قناة تصريف ذات مقطع مستطيل.

حوض تجميع محطة جريشة

هو عبارة عن مجمع صرف مفتوح ذي مقطع مستطيل كما هو موضح بالشكل (5)



الشكل (5) : مجمع مياه الصرف الصحي في محطة جريشة.

وأبعاد المجمع واردة في الجدول (2):

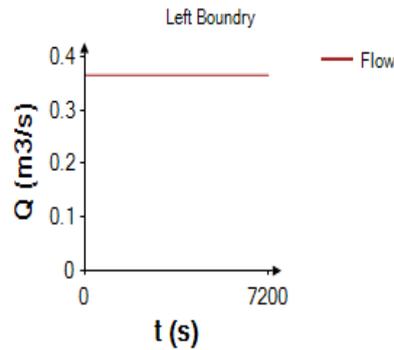
الجدول (2) : الأبعاد الهندسية لمجمع مياه الصرف الصحي في محطة جريشة.

3 m	عرض الحوض b
14.5 m	طول الحوض L
0.365 m ³ /s	الغزارة الواصلة إلى الحوض من مياه الصرف الصحي الأعظمية Q _{in,max}
0.240 m ³ /s	الغزارة الواصلة إلى الحوض من مياه الصرف الصحي الوسطية Q _{in,mid}
0.135 m ³ /s	الغزارة الواصلة إلى الحوض من مياه الصرف الصحي الدنيا Q _{in,low}
0.375 m ³ /s	غزارة الضخ الأعظمية Q _{out,max}
0.25 m ³ /s	غزارة الضخ الوسطية Q _{out,avg}
0.135 m ³ /s	غزارة الضخ الأصغرية Q _{out,min}
0.00015	الميل الطولي للحوض Is
1.7 m	ارتفاع الماء الأعظمي في الحوض h _(max)
1.45 m	ارتفاع الماء الوسطي في الحوض h (avg)
0.75 m	ارتفاع الماء الأصغري في الحوض h (min)
58.8 m ^{1/3} /s	معامل مانينغ لجدران وقاع الحوض M=1/n

3-2- الشروط الطرفية

✓ الشرط الطرفي اليساري

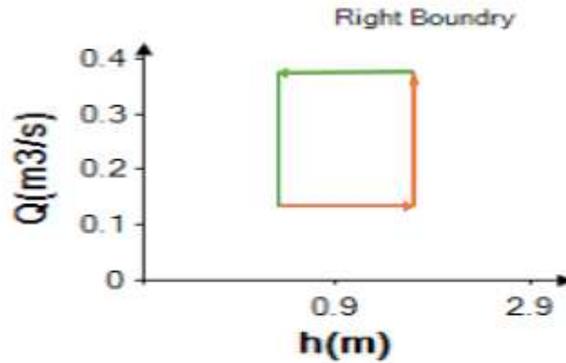
تم اعتبار الشرط الطرفي اليساري من الدرجة الثانية أي قد أعطيت الغزارة الداخلة للحوض كتابع للزمن، حيث تم اعتبار أن الغزارة الأعظمية الواردة ($Q_{max}=0.365 \text{ m}^3/\text{s}$) و الغزارة الأصغرية ($Q_{min}=0.135 \text{ m}^3/\text{s}$) و لغزارة الوسطية ($Q_{avg}=0.240 \text{ m}^3/\text{s}$). ويوضح الشكل (6) الشرط الطرفي اليساري الغزارة الداخلة كتابع للزمن لمياه الصرف الصحي في محطة جريشة



الشكل (6): الشرط الطرفي اليساري الغزارة الداخلة كتابع للزمن لمياه الصرف الصحي في محطة جريشة.

✓ الشرط الطرفي اليميني

وأما الشرط الطرفي اليميني فقد اعتبر من الدرجة الثالثة، حيث أن الغزارة قد أعطيت كتابع لمنسوب الماء ولقد سمح لمنسوب الماء أن يتأرجح بين منسوب الماء الأدنى (LWL) والأعلى (HWL). ويوضح الشكل (7): الشرط الطرفي اليميني تصريف المضخات كتابع لمنسوب الماء في حوض تجميع مياه الصرف الصحي في محطة جريشة.



الشكل (7): الشرط الطرفي اليميني تصريف المضخات كتابع لمنسوب الماء في حوض تجميع مياه الصرف الصحي في محطة جريشة.

الشروط البدئية للحساب

لقد تم اعتبار حال الجريان المنتظم كشرط بدئيه وبغزارة ثابتة Q في المجمع أي الغزارة الواردة وبعمق ثابت للجريان وكذلك حساب سرعة الجريان ومنسوب الماء لكامل المقاطع الحسابية بعد اختيار خطوة للمسافة dx والخطوة الزمنية dt ، حيث تدخل جميعها كشرط بدئية في البرنامج .

وبعد عمل البرنامج مرحلة من الجريان المنتظم والمستقر لاختبار دقة البرنامج وخطوة المسافة ينفذ البرنامج حساب البارامترات المطلوبة حتى نهاية زمن الحساب المعطى.

حالات التشغيل المختبرة

يتم التحكم بمنسوب الماء عن طريق التشغيل الجزئي لمحطة الضخ في الطرف اليميني في حالة الإملاء تُشغل المحطة بغزارة أصغرية $Q_{min}=0.135 \text{ m}^3/\text{s}$ حتى وصول الماء إلى قيمته العظمى ($HWL=1,7 \text{ m}$) عندئذ تُشغل المحطة بطاقتها العظمى $Q_{max}=0.375 \text{ m}^3/\text{s}$ حتى وصول الماء إلى قيمته الدنيا ($LWL=0,75 \text{ m}$) وعند هذا المنسوب تعود المحطة لتعمل جزئياً بغزارتها الدنيا $Q_{min}=0.135 \text{ m}^3/\text{s}$.

وسوف نستخدم البرنامج لاختيار الأبعاد المثلى لحوض التجميع (الامتصاص)

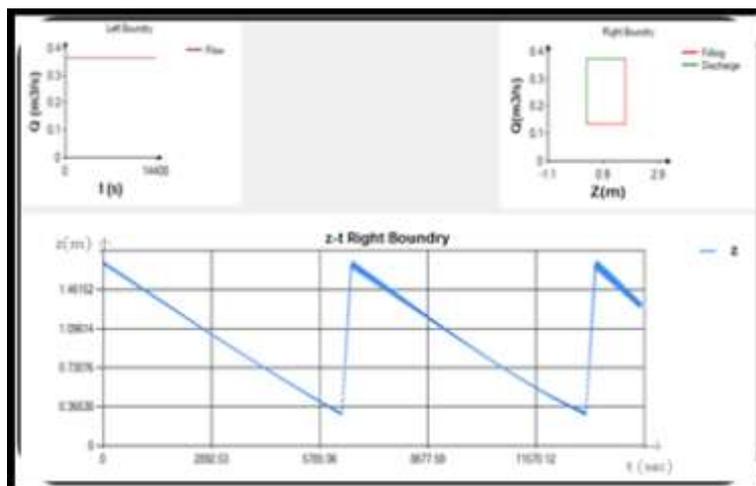
الحالة الأولى:

- الغزارة الداخلة إلى الحوض أعظمية بقيمة $Q = 0.365 \text{ m}^3/\text{s}$

وعندما يكون منسوب الماء في الحوض بقيمة عظمى مقدارها $h = 1.7 \text{ m}$ ، ندرس ثلاث حالات :

أ- طول الحوض $l=14.5\text{m}$ ، عرض الحوض $B = 3\text{m}$

يكون منسوب الماء عند الطرف اليميني (عند المضخات) ووفق الشروط الطرفية الموضحة في الشكل (8) بالعلاقة مع الزمن:

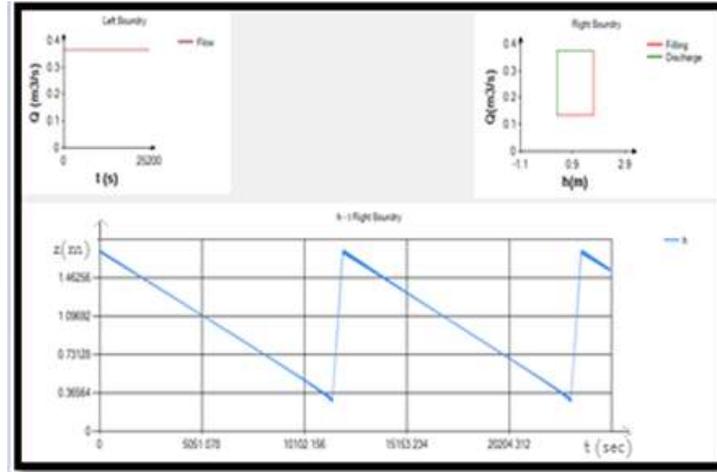


الشكل (8) : منسوب الماء عند المضخات في حوض التجميع كتابع للزمن.

نرى أن الزمن بين إيقافين للمضخات ($111.3 - \text{min } 6678 \text{ s}$) وبين إقلاعين ($96.97 - \text{min } 5818.16 \text{ s}$) هو زمن تتحمله المضخات من هذا النوع والحجم أي حوالي إقلاعين خلال خمس ساعات.

ب- طول الحوض $l=25\text{m}$ - عرض الحوض $B = 3\text{m}$

يكون منسوب الماء عند الطرف اليميني (عند المضخات) ووفق الشروط الطرفية الموضحة في الشكل (9) بالعلاقة مع الزمن:



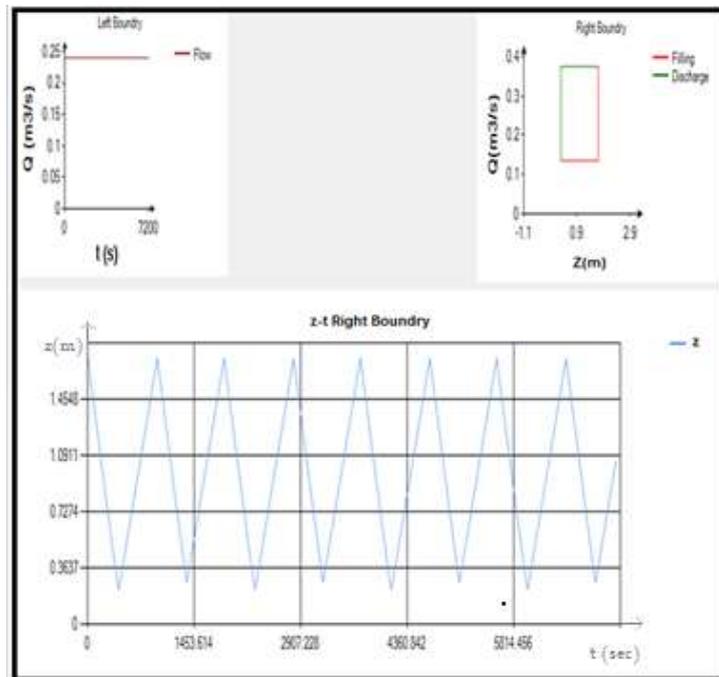
الشكل (9) : منسوب الماء عند المضخات في حوض التجميع كتابع للزمن.

نرى أن الزمن بين ايقافين للمضخات (10102.3 s – 168.37min) وبين اقلعين (10050.5 s – 167.5min) أي حوالي إقلاعين خلال سبع ساعات.
الحالة الثانية:

الغزارة الداخلة إلى الحوض وسطية بقيمة $Q = 0.24 \text{ m}^3/\text{s}$

أ_ طول الحوض $l = 14.5\text{m}$ _ عرض الحوض $B = 3\text{m}$

يكون منسوب الماء عند الطرف اليميني (عند المضخات) ووفق الشروط الطرفية الموضحة في الشكل (10) بالعلاقة مع الزمن:

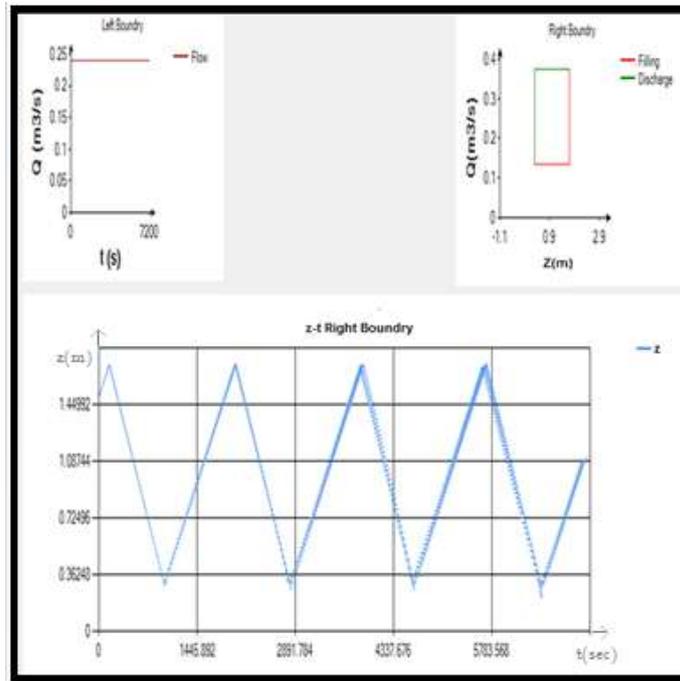


الشكل (10) : منسوب الماء عند المضخات في حوض التجميع كتابع للزمن.

نرى أن الزمن بين إيقافين للمضخات (15.78min – 947.26s) وبين إقلاعين (15.79min – 946.93s).

ب- طول الحوض $L=25m$ - عرض الحوض $B=3m$

يكون منسوب الماء عند الطرف اليميني (عند المضخات) ووفق الشروط الطرفية الموضحة في الشكل (11) بالعلاقة مع الزمن:



الشكل (11) : منسوب الماء عند المضخات في حوض التجميع كتابع للزمن.

ومنه نستنتج:

1. في حالة الغزارة الداخلة إلى الحوض أعظمية نلاحظ أنه كلما ازداد حجم الحوض كلما قل عدد إقلاعات المضخات وعدد ساعات عملها وبالتالي أن الأبعاد المثلى لحوض التخزين هي: طول المجمع $L=25m$ والعرض $B=3m$ لأنها تتطلب عدد إقلاعات أقل مما يقلل من كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة وبالتالي أقل كلفة مادية.
 2. في حالة الغزارة الداخلة إلى الحوض أصغرية نلاحظ أنه كلما ازداد حجم الحوض كلما قل عدد إقلاعات المضخات وعدد ساعات عملها وبالتالي أن الأبعاد المثلى لحوض التخزين هي: طول المجمع $L=25m$ والعرض $B=3m$ لأنها تتطلب عدد إقلاعات أقل مما يقلل من كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة وبالتالي أقل كلفة مادية .
- والجدول (2) يلخص النتائج السابقة:

ساعات عمل المضخات خلال 5 ساعات	زمن عمل المضخات في كل إقلاع (sec)	الفرق بين إيقافين (sec)	الفرق بين إقلاعين (sec)	عدد الإقلاعات خلال 5 ساعات	B (m)	L (m)	Q (m³/s)
3.2 ساعة	5776	6678	5818.16	2	3	14.5	0.365
2.4 ساعة	8754.4	10102.3	10050.5	1	3	25	0.365
2.4 ساعة	480.3	947.26	946.93	18	3	14.5	0.24
1.5 ساعة	560.2	1720.7	1700.5	10	3	25	0.24

الاستنتاجات و التوصيات:

الاستنتاجات:

- 1- عندما تكون غزارة الصرف القادمة ($Q=0.365m^3/s$) أصغر من الغزارة العظمى للضخ $Q=0.375m^3/s$ () بقليل نحصل على زمن تفريغ للمجمع طويل جداً ولكن يكون زمن الاملاء قصير
- 2- على العكس عندما تكون الغزارة القادمة ($Q=0.24m^3/s$) أكبر بقليل من الغزارة الدنيا للضخ $Q=0.135m^3/s$ نحصل على زمن إملاء طويل وزمن تفريغ قصير لذلك عند اختيار مضخات يجب أن نأخذ بعين الاعتبار تأثير غزارة الصرف القادمة على زمن الاملاء والتفريغ.
- 3- كلما ازداد حجم الحوض كلما قل عدد اقلاعات المضخات وبالتالي أن الأبعاد المثلى لحوض التخزين هي: طول المجمع $L=25m$ والعرض $B=4m$ وبالتالي يمكننا اختيار المضخات الأمثل الواجب تركيبها في محطات الضخ.
- 4- إمكانية اختيار أبعاد المجمع التي توفر أكبر تخزين ممكن من أطول فترة ممكنة بين إقلاعين للمضخات والتي تبين أنها عند طول المجمع $L=25m$ والعرض $B=4m$ تساوي إلى ($10050.5s$) مما يؤمن عمراً أطول للمحركات واستهلاكاً أقل للطاقة.
- 5- يوفر البرنامج المطور تصميماً جيداً لأحواض امتصاص محطات ضخ الصرف الصحي، ويمكن وضعه بين أيدي المهندسين، ويُمكن استخدامه في حالات الغزارة المختلفة.

التوصيات:

1. ننصح بإعادة تأهيل محطة ضخ جريشة بما يتناسب مع غزارة المياه الواردة إلى المحطة، مع وضع أجهزة مراقبة وقياس، وهذا يساهم في تطوير نظام الصرف الصحي الذي يُعد ركيزة أساسية لاقتصاد بلدنا.
2. ننصح باستخدام البرنامج المطور في تصميم أحواض امتصاص محطات ضخ الصرف الصحي والاستفادة منه في تحديد الأبعاد الأمثل لهذه الأحواض وعدد المضخات اللازمة.
3. نوصي بتطوير البرنامج الأول، ودراسة حالة توقف الضخ المفاجئ، وأيضاً أخذ شروط طرفية أخرى.

References:

1. CHAUDHRY, H. Open channel flow, Second edition, USA, 2008, 528.
2. COMEZ, M. RODELLAR, J. MANTECON, J. A. *Predictive control method for decentralized operation*. Applied Mathematical modeling, Elsevier, 2001, 26, 90-150.
3. AMIROV, V. Sewage treatment equipment marketing research , 2013,115.
4. Liggett, J. A., and Cunge, J. A. - *Numerical methods of solution of the unsteady flow equations*." Unsteady flow in open channels, Vol. I, K. Water Resources Publications.1975, 116-132.
5. MAHMOOD, K. *Unsteady Flow in Open Channels*, Vol. I, Water Wylie, E.Resources Publications, 1975, 68-85.
6. LIGGETT, J. A. CUNGE, J. A. *Numerical methods of solution of the unsteady flow equations*, Vol. I. 1975, 80-97.
7. HASSAN. I, JNAD. H, pumping stations, Directorate of Books and Publications, Tishreen University, Lattakia, 1993.
8. HASSAN. I, FWAETE. F, Water machines and their stations, Directorate of Books and Publications, Tishreen University, Lattakia, 2001.
9. Al-Kanj. A, Asaad. A , Al-Rayy, 2007, 436.
10. Hassan, I. irrigation networks. 2012, 391.

11. *Hassan, I. A contribution to simulating unstable flows in water channels, especially when taking into account the hydro-automatic regulation of irrigation networks. Doctoral thesis, Germany, 1989, 46-79.*
12. *Daly, Noor. Determining the optimal spacing between the elements of flow regulation in irrigation networks using the Variable Characteristic Network (CHVN) method. Tishreen University Journal Science Series, 2019, 41(5), 4-10.*