

التصميم الاقتصادي الأمثل لشبكة أنابيب الري الرئيسية للمشاريع الأروائية

الدكتور أنمار عبدالعزيز مجيد الطالِب / أستاذ مساعد روى فائز محمود كداوي / ماجستير

جامعة الموصل - كلية الهندسة - قسم الموارد المائية

الخلاصة

تحتاج شبكات أنابيب الري إلى الطاقة لضخ الماء فيها وان هذه الحاجة إلى الطاقة وكلفتها في تزايد مستمر تبعا لزيادة التوسع القائم حاليا في الدول العربية عامة ودول الخليج العربي خاصة باعتماد نظم الري الحديثة في المشاريع الزراعية الأروائية. معظم أنابيب الضخ في هذه المنظومات على أسس هيدروليكية فقط دون الالتفات إلى تكاليف الطاقة اللازمة للضخ مما ينجم عنه هدر كبير في الطاقة والأموال اللازمة لتشغيل المشاريع. وفي بعض الأحيان يتم التصميم على أسس اقتصادية دون أخذ النواحي الهيدروليكية بنظر الاعتبار مما يؤدي إلى انخفاض كفاءة أداء المنظومة أو تلف أنابيب الشبكة وبالتالي ارتفاع تكاليف الصيانة.

يقدم البحث الحالي نموذجا رياضياتيا أمثل لتصميم شبكة الأنابيب الرئيسية للري بالرش باستخدام أحد أساليب البرمجة الخطية وبفرض عدم معرفة مقدار الشحنة الديناميكية الكلية في بداية الشبكة (عند محطة الضخ) مع الأخذ بنظر الاعتبار مختلف ظروف الحقل مثل التغير في مناسيب الأرض داخل المشروع والعوارض المحتملة فضلا عن متطلبات التشغيل مثل التصاريح وشحنة الضغط المطلوب توفرها عند كل منفذ حقل في الشبكة.

وقد بينت الدراسة أن استخدام هذا النموذج في التصميم أدى إلى توفير في الكلفة الكلية للشبكة بنسبة 9.32% مقارنة بالتصميم المعد في حالة معرفة الشحنة الديناميكية الكلية في بداية الشبكة لأحد القطاعات في مشروع إروائي كبير قرب مدينة الموصل ولكنه لم ينفذ لحد الآن .
الكلمات المفتاحية: التصميم الاقتصادي الأمثل، شبكة أنابيب الري.

OPTIMAL ECONOMICAL DESIGN OF MAIN IRRIGATION PIPE NETWORK FOR IRRIGATION PROJECTS

Dr. Anmar A.M. Al-Talib/ Ass. Prof. Ruaa Faiz M. Gadawi / M. Sc

University of Mosul – College of Engineering - Water resource Department

Abstract

Energy is required for pumping water in the irrigation pipe distribution networks. The need for this energy and its cost are continuously increasing due to the on-going expansion of the Arab countries in general and the Gulf countries in particular in using modern irrigation systems in their agricultural irrigation projects. Most pumped pipe-networks designed on hydraulic basis only without paying attention to the cost of power, thus huge loss in energy and capital needed for projects operation occur Sometimes. The design is based on economical basis without taking hydraulic aspects into consideration which results in low performance efficiency of the system or damage to the pipe network and consequently high maintenance costs.

The paper presents computerized mathematical model for optimal design of main pipe distribution networks of sprinkler irrigation system using linear programming. The pressure head at the inlet of the pipe distribution network is assumed unknown, thus the objective is to minimize the sum of the initial cost of the pipe network and the cost of energy for pumping.

The constraints included the minimum and maximum pressure head at all points along the pipes of the network in addition to the flow rates requirements within the network and at the inlet of each farm .

The study revealed that using the proposed model in the design assuming unknown inlet pressure head to system has resulted in 9.32% saving in the total cost of the network compared to the existing design which is based on known inlet pressure head for a selected irrigation sector inside a large planned irrigation project near Mosul city, northern Iraq.

Key words: Optimal Economical Design, Irrigation Pipe Network.

المقدمة

غالبا ما تكون هنالك عدة بدائل ممكنة عند تصميم أي مشروع إروائي إلا إن البديل الأكثر اقتصادية هو المفضل في الاختيار النهائي من بين هذه البدائل. تصمم معظم شبكات الأنابيب الرئيسية للري بالرش على أساس معرفة قيمة الشحنة الديناميكية الكلية (Total Dynamic Head TDH) اللازمة للضخ في بداية الشبكة (عند محطة الضخ). يتطلب عند القيام بتصميم شبكات الأنابيب الرئيسية للري بالرش معرفة موقع ومنسوب أنبوب الرش وأقل ضغط تصميمي عند كل منفذ مع مخطط للشبكة موضح فيه طول كل مقطع والتصريف المار فيه، كما يتطلب معرفة نوعية الأنبوب المستخدم في التصميم و حدود سرعة الجريان المسموح بها داخله وأقصى شحنة ضغط مسموح بها في الشبكة [6].

قدم [7] طريقة لتصميم منظومات توزيع المياه باستخدام تقنيات البرمجة غير الخطية (Nonlinear programming techniques) مع نماذج محاكاة توزيع المياه (Water distribution simulation models)، وقد أعطت هذه الطريقة أفضل تصميم للمنظومة مع التقليل من الكلفة الكلية لها وبموجب مجموعة من المحددات منها محددات (أقطار الأنابيب و أحجام المضخات و وضع صمامات السيطرة و تقليل الضغط و أحجام ومناسيب الخزانات). وجد [8] طريقة لتطوير تصميم شبكات أنابيب مياه الري تعتمد على أسلوب البرمجة الديناميكية في تحديد أفضل إستراتيجية لاستخدام صمامات تخفيف الضغط (Pressure reducing valves PRVs) من أجل التقليل من الضغط الفائض في بعض أجزاء شبكة الأنابيب المتجهة نحو أراضي منخفضة، تمكن الطريقة من استخدام أنابيب بسمك أقل وبذلك يتم التقليل من كلفة الأنابيب. كما إن تحديد أفضل المواقع لهذه الصمامات أدى إلى التوفير في كلفة الشبكة، وقد تضمنت دالة الهدف مقدار التوفير في كلفة الأنابيب مطروحا منها كلفة نصب الصمامات.

وقدم [5] طريقة مكونة من ثلاثة نماذج رياضية لتصميم شبكة أنابيب توزيع مياه الري. يقوم النموذج الأول بتخطيط شبكة الري بتفرعاتها المختلفة أما النموذج الثاني فيقوم بحساب التصريف لكل جزء من أجزاء الشبكة والنموذج الثالث يحسب حجم الأنابيب والمضخات باستخدام طريقة البرمجة الخطية الثنائية المختلطة (Mixed binary linear programming method). وقد أوضحت النتائج فائدة هذه الطريقة في مساعدة المهندسين والمصممين في اتخاذ القرارات الصائبة المتعلقة بالمشاريع. كما استخدم [4] طريقة البرمجة غير الخطية المختلطة (Mixed integer nonlinear programming method) لغرض الحصول على أفضل تصميم لشبكة أنابيب مياه الإسالة التي ازدادت تكاليف صيانتها نتيجة لتعرضها للتلف المستمر. وقد تم في هذه الطريقة اختيار القطر المناسب للأنبوب من بين الأقطار التجارية المتوفرة مع بقاء أطوال الأنابيب ثابتة إذ تضمن النموذج الرياضي المحددات الهيدروليكية ودالة الهدف تمثل كلفة الأنابيب فقط التي تكون أقل ما يمكن. واستخدم [9] طريقة البرمجة الصحيحة الضبابية التفاعلية (The interactive fuzzy integer programming method) في تصميم شبكات أنابيب الري للحصول على أقل كلفة. تعتمد هذه الطريقة على تحديد متطلبات الضغط عند المرشات إذ تفترض الطريقة كون التصريف ثابتا لجميع المرشات وباستخدام هذه الطريقة تم تحقيق أرباح اقتصادية عن طريق التقليل من كلفة الطاقة إذ تمكن المصممون من تأمين الضغوط التشغيلية المطلوبة عند المرشات الحرجة ومن ثمة التقليل من الكلفة الكلية للشبكة. يحاول البحث الحالي تقديم تصميم اقتصادي أمثل لشبكة الأنابيب الرئيسية لأحد القطاعات في مشروع ري الجزيرة الشرقي المصمم سابقا من قبل شركة دجلة العامة لدراسة وتصاميم مشاريع الري باستخدام أسلوب البرمجة الخطية [3] بحيث يضمن تحقيق الشروط الهيدروليكية للشبكة من ناحية تأمين الضغط التشغيلي المطلوب عند كل منفذ حقل في الشبكة سرع الجريان المسموح بها .

النموذج الرياضي

يتكون النموذج الرياضي في مسائل البرمجة الخطية عموما من دالة هدف (Objective function) بأنها الدالة التي تحدد الكميات أو المتغيرات المرغوب تعظيم أو تصغير قيمها ومحددات (Constraints) تعرف بأنها مجموعة من العلاقات التي تحتوي على عدد من المتغيرات والمؤشرات المعبرة عن الإمكانيات والمستلزمات المتاحة لتحقيق دالة الهدف [1].

تم اعتماد عدد من الفرضيات في صياغة دالة الهدف والمحددات الخاصة بالنموذج الرياضي وهي:

- 1 التخطيط لشبكة الأنابيب معلوم.
 - 2 يوجد مصدر واحد لتجهيز الشبكة بالماء.
 - 3 التصريف عند نقاط ()
 - 4 شحنة ضغط مطلوبة عند جميع الفتحات في الشبكة
 - 5 الشحنة الديناميكية الكلية للضخ (TDH) غير في بداية الشبكة.
- تم استخدام البرنامج الجاهز ماتلاب (MATLAB 6.5) في حل النموذج الرياضي.

صياغة دالة الهدف

تم صياغة دالة الهدف في هذا النموذج التي شملت مجموع كلفة الأنابيب وكلفة الطاقة اللازمة للضخ.

$$\text{Min. } Z = PRC X_1 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m(i)} X_{(i,j)} C_{(j)} \dots \dots \dots (1)$$

Z = دالة الهدف (كلفة سنوية بالدينار)

PRC = الكلفة السنوية للطاقة اللازمة للضخ لوحدة الشحنة (= 1) (بالدينار).

X₁ = متغير يمثل الشحنة الديناميكية الكلية المطلوب توفيرها في بداية الشبكة ()

X_(i,j) = (j) (i) 100 .

C_(j) = الكلفة السنوية المكافئة لتكاليف تجهيز ونصب 100 D_(j) هو قطر الأنبوب وإن

j تتغير من 1 إلى m هو عدد الأقطار المسموحة للأنابيب.

ويمكن الحصول على قيم C_(j) (1) بضرب الكلفة الأولية لتجهيز ونصب وحدة الطول من الأنبوب ذي

D_(j) (Capital recovery factor) الذي يعتمد على عمر استخدام الأنبوب والفائدة

أو نسبة الربح السنوية.

ويمكن حساب الكلفة السنوية للطاقة اللازمة للضخ من المعادلة الآتية:

$$PRC = \frac{Q_p * 1 \text{ meter}}{367 E_p} * YH * UPC \dots \dots \dots (2)$$

Q_p = تصريف المضخة (/³).

E_p = الكفاءة الإجمالية لوحدة الضخ () .

YH = تشغيل محطة الضخ في السنة () .

UPC = سعر وحدة الطاقة المستهلكة (دينار/ كيلو واط - ساعة، بالنسبة للطاقة الكهربائية). وهو متغير

حيث يمكن استخدام أي بديل لسعر الطاقة يمكن توفيره.

صياغة المحددات

تم صياغة المحددات بموجب ما هو متاح من بيانات حول طبيعة أرض المشروع وظروف التشغيل فيه، وقد كانت

1 محددات تضمن وقوع قيم شحنة الضغط الفعلية بين أكبر وأقل قيمة لشحنة الضغط التصميمية وتكون على الشكل

$$X_1 + WSL - \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m(i)} HL_{(i,j)} X_{(i,j)} \right] - GL_{(k)} \leq HMAX_{(k)} \dots \dots \dots (3)$$

$$X_1 + WSL - \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m(i)} HL_{(i,j)} X_{(i,j)} \right] - GL_{(k)} \geq HMIN_{(k)} \dots \dots \dots (4)$$

for ... i = 1,2,3,....., N

WSL =

(.)

D_(j) = HL_(r,j)

= (k)

(.) = GL_(k)

(.) = HMIN_(k) HMAX_(k) = أقصى وأدنى شحنة ضغط تصميمية (.)

ويمكن إيجاد قيم $HL_{(r,j)}$ باستخدام معادلة هيزن ويليامز Hazen-Williams قبل المهندسين وان هذه المعادلة مستنبطة للجريان الانتقالي transitional flow. وقد وجد مؤخراً بأنها تعطي تقديرات واطئة لضائعات الطاقة بالأحتكاك عندما يقترب رقم رينولد من مدى قيم الجريان الطباقى laminar flow [2].

$$HL = 1.14 \times 10^9 (Q / C)^{1.852} * L / D^{4.87} \dots\dots\dots (5)$$

التي فيها:

(.)

=HL

=Q تصريف الأنبوب (/³) .

=L (.)

=D (.)

=C معامل الخشونة ويعتمد على نوع مادة الأنبوب.

2 محددات تضمن أن المجموع الكلي لطول كل جزء من الأنبوب بقطر مناسب يساوي طول المقطع ولجميع مقاطع الأنبوب ، وتأخذ الصيغة الآتية:

$$\sum_{j=1}^{m(i)} X_{(i,j)} = L_{(i)} \dots\dots\dots (6)$$

For $i = 1, 2, 3, \dots, N$

:

(i) =L_(i)

=N عدد المقاطع أو الأجزاء من الأنابيب المكونة للشبكة.

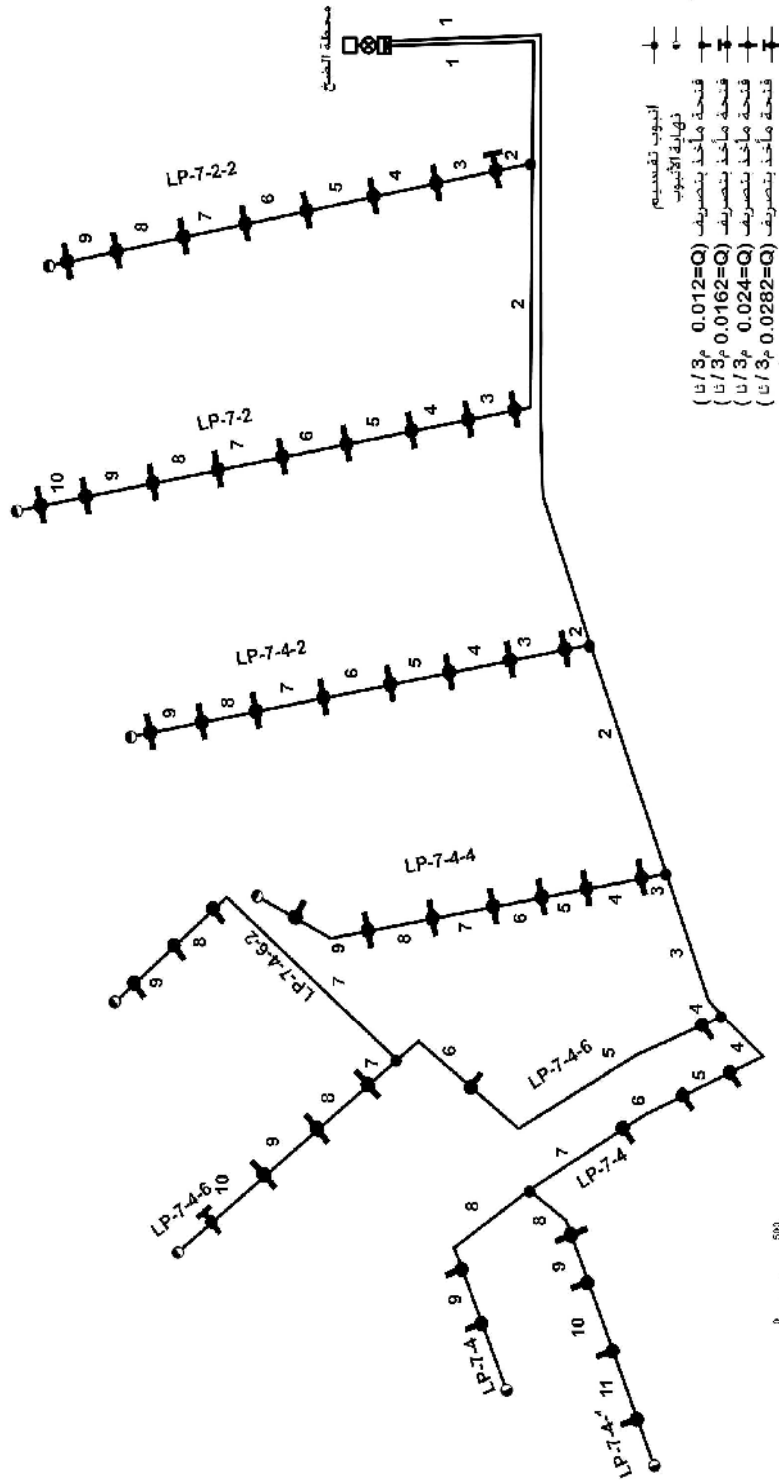
3 محددات تضمن أن جميع أطوال الأنابيب موجبة ولجميع قيم i,j.

$$X_{(i,j)} \geq 0 \dots\dots\dots (7)$$

تطبيق النموذج المقترح في هذه الدراسة على إحدى قطاعات (Sectors) مشروع إروائي (لم ينفذ بعد) قرب شكل (1) يوضح مخطط شبكة الأنابيب الرئيسية للقطاع قيد الدراسة. يجهز القطاع 87 وحدة ري بالماء تبلغ 15 هكتار تقريبا ويبين الجدول (1) التفاصيل والبيانات الخاصة بالأنابيب. وقد تم اعتماد قيمة 0.1023 رأس المال (Capital recovery factor). كما تم اعتماد حدود سرعة الجريان المسموح بها داخل الأنابيب (0.5-2.0) \ . بالنسبة لمحطة الضخ فقد تم اعتماد البيانات الآتية (2)

(40) $(Q_p = 3804 / YH = 3700 = E_p = 77\% = PRC = 249000 \text{ دينار} / 1)$.
قيمة لشحنة الضغط و(75متر) لأقصى قيمة لشحنة الضغط المطلوبة عند كل نقطة طلب في الشبكة. وعليه فقد أصبح مجموع المتغيرات في المسألة 276 متغير وعدد المحددات 168. من ملاحظة النتائج التي تم الحصول عليها من الدراسة. وجد بأن كلفة طاقة الضخ حاليا قليلة جدا مقارنة بكلفة الأنابيب لذا فان البرنامج الحاسوبي يتجه إلى زيادة قيمة الشحنة الديناميكية الكلية (TDH) للضخ لغرض التقليل من كلفة الأنابيب إذ إن زيادة طاقة الضخ تقلل أحجام () الأنابيب ومن ثمة تقل الكلفة الكلية للشبكة. (2) يبين نتائج التصميم الأمثل لشبكة أنابيب الري الرئيسية.

كما وجد عند مقارنة نتائج هذه الطريقة مع نتائج تصميم أ معد لنفس القطاع وبمعرفة قيمة الشحنة الديناميكية الكلية (TDH) للضخ في بداية الشبكة (تم تصميم القطاع بقيمة TDH = 48 م وكانت قيمة Z = 2578300000 دينار) أن هنالك توفير في الكلفة الكلية للشبكة بنسبة 9.32% مع الإيفاء بجميع المتطلبات الهيدروليكية في التصميم.



(1) يوضح مخطط شبكة الأنايب الرئيسية
قيد الدراسة

نوع الألياف: بيلستيف نوع UPVC (Ure-plasticized Polyvinyl Chloride)
 صم الاستعداد: 40 سنة.
 قيمة معدل المتوسطة (C): 150
 الجولان (1): كثافة أصل الحفر والنسب للألياف (بيتار صراقي) ولكن 100 م طول. (الأستار لشهر نيسان 2007).

الكثافة الحبيبة	كثافة الردم ببوله الحفر نفسها	كثافة الردم ببوله مختارة	كثافة الردم لغاية مركز الألياف	كثافة قرشة القعر	كثافة حفر الخندق	كثافة الألياف	الحفر الخارجي للألياف (ملم)	الحفر الداخلي للألياف (ملم)
2504970	57225	87660	14085	81750	529350	1734900	145	125
2809340	59850	93645	16695	85500	553650	2000000	170	150
3059981	62475	99711	19395	89250	600150	2189000	195	175
3223130	65100	105840	22140	93000	637050	2300000	220	200
3504360	67725	112005	24930	96750	674850	2528100	245	225
3730470	70350	118260	27810	100500	713550	2700000	270	250
4058500	75600	130950	33750	108000	793800	2916400	320	300
6406330	80850	143865	39915	115500	877800	5148400	370	350
7378005	8610	157050	46305	123000	965550	6000000	420	400
9124280	91350	170415	52965	130500	1057050	7622000	470	450
11630800	96600	184050	59850	138000	1152300	10000000	520	500
19437770	129150	270270	104175	246000	1688175	17000000	630	600
24758955	139650	303840	124290	266000	1925175	22000000	730	700
25677325	144900	320940	134685	276000	2049300	22751500	780	750
28097075	150150	338400	145350	286000	2177175	25000000	830	800
31907390	155400	355995	156195	296000	2308800	28635000	880	850
33451995	160650	373860	167310	306000	2444175	30000000	930	900
48823895	171150	410310	190260	326000	2726175	45000000	1030	1000

(2) : التصميم الأمثل لشبكة أنابيب الري الرئيسية

الأنبوب الرئيس LP-7-2

()	()	()	الجريان (/)	()	()	تصريف الأنبوب (/ ³)	()
299.3	6.12	47.8	1.72	400	1200.00	777.60	2
297.7	1.57	47.83	2.00	350	200.00	691.20	3
294.9	1.66	48.97	1.75	350	270.00	604.80	4
290.8	1.38	51.69	1.50	350	300.00	518.40	5
289.8	2.16	50.53	1.70	300	310.00	432.00	6
289.0	3.47	47.86	1.96	250	310.00	345.60	7
289.5	3.30	44.06	1.81	225	300.00	259.20	8
285.9	3.04	44.62	1.53	200	330.00	172.80	9
285.8	7.58	40.00	1.36	150	17.36	86.40	10
			1.96	125	182.64		

LP-7-2-2

()	()	()	الجريان (/)	()	()	تصريف الأنبوب (/ ³)	()
299.0	2.81	54.22	1.46	600	1200.00	1483.92	1
298.0	0.68	54.54	1.56	400	160.00	706.32	2
295.6	1.72	55.22	1.75	350	280.00	604.80	3
294.4	1.38	55.04	1.50	350	300.00	518.40	4
293.4	2.16	53.88	1.70	300	310.00	432.00	5
293.8	3.36	50.12	1.96	250	300.00	345.60	6
291.9	3.41	48.61	1.81	225	310.00	259.20	7
289.5	5.47	45.54	2.00	175	310.00	172.80	8
288.4	6.03	40.61	1.96	125	240.00	86.40	9

الأنبوب الرئيس LP-7-4

()	()	()	الجريان (/)	()	()	تصريف الأنبوب (/ ³)	()
297.5	8.96	49.57	1.67	700	3540.00	2319.84	1
295.8	2.90	48.37	1.60	600	1040.00	1628.64	2
294.7	3.51	45.96	1.86	450	680.00	1067.04	3
294.2	3.14	43.32	1.70	300	450.00	432.00	4
293.3	1.49	42.73	1.53	300	260.00	388.80	5
291.3	1.38	43.35	1.36	300	300.00	345.60	6
287.4	1.84	45.41	1.19	300	510.00	302.40	7
			1.36	150	207.5		
282.6	10.21	40.00	1.96	125	322.5	86.40	8
			0.98	125	250.00		
280.9	1.70	40.00	0.98	125	250.00	43.20	9

LP-7-4-1

()	()	()	الجريان (/)	()	()	تصريف الأنابيب (/ ³)	()
287.3	3.65	41.86	1.51	225	3.44	216.00	8
			1.91	200	256.56		
284.6	1.30	43.26	1.15	200	240.00	129.60	9
284.8	3.06	40.00	1.36	150	310.00	86.40	10
281.3	2.16	41.34	0.98	125	310.00	43.20	11

LP-7-4-2

()	()	()	الجريان (/)	()	()	تصريف الأنابيب (/ ³)	()
296.6	1.02	49.45	2.00	350	130.00	691.20	2
294.3	1.60	50.15	1.75	350	260.00	604.80	3
293.2	1.34	49.91	1.50	350	290.00	518.40	4
291.2	1.88	50.03	1.70	300	270.00	432.00	5
289.0	3.59	48.64	1.96	250	320.00	345.60	6
287.4	3.41	46.83	1.81	225	310.00	259.20	7
285.9	3.53	44.80	1.53	200	146.31	172.80	8
			2.00	175	123.69		
284.7	6.00	40.00	1.96	125	240.00	86.40	9

LP-7-4-4

()	()	()	الجريان (/)	()	()	تصريف الأنابيب (/ ³)	()
295.0	0.64	48.53	1.62	350	120.00	561.60	3
293.3	2.16	48.07	1.87	300	260.00	475.20	4
294.0	1.20	46.17	1.53	300	210.00	388.80	5
292.3	2.01	45.86	1.71	250	230.00	302.40	6
290.0	4.03	44.13	1.91	200	290.00	216.00	7
287.6	3.21	43.32	1.50	175	310.00	129.60	8
286.0	2.79	42.13	0.98	125	400.00	43.20	9

LP-7-4-6

()	()	()	الجريان (/)	()	()	تصريف الأنابيب (/ ³)	()
294.5	0.67	45.49	1.83	350	100.00	635.04	4
288.2	7.37	44.42	1.71	350	1250.00	591.84	5
287.4	2.19	43.03	1.54	350	450.00	533.52	6
286.1	0.90	43.43	1.42	300	180.00	360.72	7
283.9	3.66	41.97	1.92	225	300.00	274.32	8
282.0	3.33	40.54	1.66	200	310.00	187.92	9
280.0	2.54	40.00	1.17	175	252.74	101.52	10
			1.60	150	67.26		

LP-7-4-6-2

()	()	()	الجريان (/)	()	()	تصريف الأنبوب (/ ³)	()
284.5	5.93	40.00	1.21	225	1150.00	172.80	7
283.2	1.30	40.00	1.00	175	217.04	86.40	8
			1.36	150	22.96		
280.7	1.81	40.69	0.98	125	260.00	43.20	9

ملخص لأطوال أنابيب القطاع قيد ا

()	()
1764.00	125
472.33	150
619.03	175
1798.29	200
1201.30	225
1547.02	250
4082.52	300
2880.00	350
1619.80	400
335.71	450
1880.00	500
946.67	600
3841.33	750
992.00	800

الطول الكلي للأنابيب=23980

الكلفة السنوية للأنابيب = 218770000 ديناراً

الكلفة السنوية للطاقة= 15020000 ديناراً

قيمة دالة الهدف Z= 233790000 ديناراً

60.31 =TDH

الاستنتاجات والتوصيات

من النتائج التي تم الحصول عليها نستنتج ما يأتي:
 أن استخدام طريقة البرمجة الخطية في تصميم أنابيب مياه الري في حالة عدم معرفة قيمة الشحنة الديناميكية الكلية (TDH) عند بداية الشبكة أدى إلى التقليل من الكلفة الكلية للشبكة وبنسبة 9.32% .
 بسبب انخفاض كلفة الطاقة اللازمة للضخ مقارنة مع كلفة الأنابيب، بالإمكان رفع قيمة الشحنة الديناميكية الكلية للضخ (TDH) وحسب مواصفات الأنابيب والضغط الذي تتحمله للحصول على كلفة اقل للأنابيب وبالتالي التقليل من الكلفة الكلية للشبكة.
 يمكن باستخدام طريقة البرمجة الخطية الحصول على التصميم الأمثل لشبكة الأنابيب الرئيسة وبموجب الأقطار المتوفرة من الأنابيب تجارياً.

يوصي هذا البحث بدراسة تأثير استخدام المضخات الثانوية للمساحات المرتفعة من أرض المشروع على دالة الهدف، حيث أن ذلك يجنبنا رفع قيمة الشحنة الديناميكية الكلية للضخ (TDH) في بداية الشبكة مما ينعكس سلباً على قيمة شحنة الضغط في المناطق ذات المناسيب الواطئة في المشروع .

- 1 احمد، خالد ياسين، (2000). بحوث العمليات () .
- 2 , أحمد يوسف و ياسين، حقي أسماعيل،(1992). هندسة نظم الري الحفلي. دار الكتب للطباعة والنشر،
- 3 (2008).تقويم وتطوير التصميم لشبكة الأنابيب لقطاعين في مشروع ري الجزيرة الشرقي. رسالة ماجستير، كلية الهندسة، جامعة الموصل، 71.
- 4- Bragalli, C., Ambrosio, C., Lee, J., Lodi, A. and Toth, P., 2006. "An MINLP Solution Method for a Water Network Problem". IBM T.J. Watson Research Center, NY, USA.
- 5- Gonçalves, G. and Van Pato, M. 2000." A Three-Phase Procedure for Designing an Irrigation System's Water Distribution Network". Annals of Operations Research 94 : 163-179.
- 6- Labye, B., Olson, M.A., Galand, A. and Tsiourtis, M. "Design and Optimization of Irrigation Distribution Networks". 1988. Irrigation and Drainage Paper No.44, FAO , Rome , Italy.
- 7- Lansey, K.E. and Mays, L.W. 1989. "Optimization Model for Water Distribution System Design". Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 115 (10) : 1401-1418.
- 8- Perez, R., Martinez, F. and Vela, A. 1993." Improved Design of Branched Networks by using Pressure-Reducing Valves". Journal of Hydraulic Engineering, 119 (2) : 164.
- 9- Spiliotis, M. and Tsakiris, G. 2007. "Minimum Cost Irrigation Network Design using Interactive Fuzzy Integer Programming". Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 133 (3) : 242-248.