مجلة الكوفة الهندسية
الرقم الدولي الموحد
٢٠٧١ -٥٥٢٨
طبع في العراق

المجلد الثاني، العدد الأول ، صفحات البحث (١ - ١٧)،كانون الأول ٢٠١٠

تقييم و تقويم أداء المضخة اللولبية الابتدائية لمحطة معالجة المياه الثقيلة لمدينة كربلاء المقدسة

أيمن رشاد نور
جامعة الكوفة / كلية الهندسة
(استلم بتاريخ ٢٣ /٥/ ٢٠١٠ ; قبل بتاريخ ٧ /٩/ ٢٠١٠)

الخلاصة

يقييم البحث أداء المضخة اللولبية (مضخة ارخميدس) الابتدائية في محطة معالجة المياه الثقيلة القديمة لمدينة كربلاء المقدسة، يقييم أدائها من حيث معدل التصريف الحجمي و تحديد المشاكل و تشخيص العيوب و إيجاد الحلول لها. كما و يقدم البحث التصميم الشكلي الأمثل للمضخة. تبين نتائج البحث تأثيرا كبيرا لصفيحة التوجيه و مقدار الخطوة و نصف قطر اسطوانة العزم على التصريف الحجمي للمضخة.

كلمات رئيسية: مضخات، مضخة لولبية، مضخة ارخميدس.

EVALUATE AND RECTIFICATE THE PERFORMANCE OF THE SPIRAL PUMP OF THE HOLLY KARBALA SEWAGE TREATMENT STATION

Aimen Rashad Noor
College of Engineering / Kufa University

ABSTRACT

This paper evaluates the performance of the primary spiral)Archimedes (screw pump in the old sewage treatment station of the holly Karbala .This paper evaluates the pump according to its volumetric flow rate, determines the problems, diagnoses the defects, and finds the solutions .In addition, the paper suggests the optimum design for the pump. The results show a big effect of the side profile, pitch, and radius of the torque tube upon the discharge of the pump.

قائمة الرموز

الرمز	الوصف	الوحدات
D	القطر الخارجي للمضخة	متر
K	ميل المضخة	
L	طول المضخة	متر
N	عدد الريش	
P	الخطوة	متر
p	نسبة الخطوة	
R_i	نصف قطر المضخة الداخلي	متر
R_o	نصف قطر المضخة الخارجي	متر
r	نسبة أنصاف الأقطار	
v	النسبة الحجمية	
V_T	حجم الماء المصروف لدورة واحدة للمضخة	متر مكعب
y	بعد الريشة او سطح الماء عن محور المضخة	متر
ψ	زاوية ميل المضخة عن الافق	درجة
β و α	زاويتا ميل الحافة الداخلية و الخارجية للريشة عن محور المضخة	درجة
ϕ	زاوية دوران الريشة	درجة
*	فوق اي رمز يعني الامثل	

١ – المقدمة:

المضخة اللولبية او مضخة ارخميدس هي آلة – تاريخيا – استخدمت في رفع الماء من مستو واطئ في النهر الى قنوات الري. و المشهور أنها واحدة من اكتشافات ارخميدس – على الرغم من أن الكتابات حول جنائن بابل المعلقة تشير الى آلة مشابهة استخدمت من قبل أبناء الرافدين مبكرا في حدود ٦٠٠ ق.م أي حوالي أكثر من ٣٠٠ سنة قبل ولادة ارخميدس [١و٢] – و ذلك من خلال الكتابات التاريخية التي وصلت إلينا، إلا انه لا يوجد وصف دقيق لمضخة ارخميدس في المصادر التاريخية حتى القرن الأول قبل الميلاد حيث قام المهندس الروماني فيتروفيوس (Vitruvius)[٣] بإعطاء تفاصيل و أوصاف تعريفية حول كيفية بناء مضخة لولبية.

ان كفاءة مضخة ارخميدس العالية و قدرتها على تصريف كميات كبيرة من المياه و خاصية عدم انسدادها بالشوائب جعلت هذه المضخة هي المفضلة في كثير من المجالات (خاصة في المياه القذرة) ليومنا هذا فضلا عن كونها قليلة الحاجة للصيانة الدورية لكونها تعمل بسرع دورانية بطيئة نسبيا (اقل من ٦٠ دورة في الدقيقة).

في الواقع هناك شركات عالمية مختصة اقترنت اسماؤها بصناعة المضخات اللولبية ولها باع طويل في هذا المجال. نذكر على سبيل المثال؛ شركة ريتز اترو[٤] و شركة لانديستيريا[٥] و شركة سبان بابكوك[٦] و شركة ايبك[٧].

لقد قامت شركة ريتز اترو بطباعة كتاب حول تصميم و تشغيل مضخات ارخميدس معتمدة على الخبرة الميدانية و العملية المتراكمة حددت فيه السرعة الدورانية للمضخة على ان لا تزيد عن $\frac{50}{D^{2/3}}$ حيث D القطر الخارجي للمضخة بالامتار. كما و حددت فيه مقدار الخطوة كالتالي:

١- اذا ψ (زاوية ميلان المضخة عن الافق) اقل من ٣٠ درجة فان مقدار الخطوة = ٢,٤ مرة بقدر نصف القطر الخارجي للمضخة.

٢- اذا ψ تساوي ٣٠ درجة فان مقدار الخطوة = مرتين بقدر نصف القطر الخارجي للمضخة.

٣- اذا ψ اكبر من ٣٠ درجة فان مقدار الخطوة = ١,٦ مرة بقدر نصف القطر الخارجي للمضخة.

في الحقيقة لم نجد من يتطرق لمضخة ارخميدس في اثناء بحثنا المضني سوى الباحث جرس رورس[٨] حيث قام هذا الباحث بايجاد علاقات بين المحددات الخارجية للمضخة و الداخلية على اساس أعلى تصريف حجمي لها.

٢- وصف المضخة

غالبا ما تتكون المضخة اللولبية من ريشة (أو أكثر) ملحومة على اسطوانة مجوفة تدعى باسطوانة العزم أو الاسطوانة الداخلية، ملحومة على مسار جيبي وتحيط بها نصف اسطوانة تدعى بالمجرى وصفيحة توجيه. هذا ما يخص جسم المضخة اللولبية يضاف لها نظام تشغيل يتكون من محرك كهربائي و نظام نقل الحركة من المحرك الكهربائي إلى جسم المضخة و غالبا ما يتكون من منظومة البكرات و الأحزمة إضافة إلى صندوق التروس ورابط مرن و محامل علوية و سفلية(راجع الشكل رقم ١).

تقوم المضخة برفع الماء من مستو واطئ إلى آخر أعلى من خلال تدوير المضخة لتتولد جيوب مائية نتيجة حصر الماء بين الريشة (الريشات) و بين المجرى و صفيحة التوجيه و يتحرك كل جيب مائي مقدار خطوة واحدة إلى الأعلى لكل دورة تدورها المضخة. لذلك فان معدل تصريف المضخة يعتمد على عدد و حجم الجيوب المائية المتكونة و على مقدار الخطوة و على السرعة الدورانية للمضخة.

إن عدد الجيوب المتكونة يعتمد على عدد الريش الملحومة على اسطوانة العزم (الاسطوانة الداخلية) و إن حجم كل جيب مائي يعتمد على زاوية ميلان المضخة عن الأفق و على قطري المضخة الخارجي و الداخلي و على مقدار الخطوة (راجع الأشكال رقم٢ و رقم ٣ و رقم ٤).

في عملية التصميم تكون هنالك محددات و غالبا ما تكون القطر الخارجي للمضخة و زاوية ميلانها عن الأفق و طول المضخة، لذلك يتوجب على المصمم اختيار القطر الداخلي الأمثل للمضخة و الخطوة المثلى و عدد الريش الأمثل و السرعة الدورانية المثلى التي تمكن المضخة من تصريف اكبر قدر من السائل في وحدة الزمن.

٣- وصف محطة الرفع

لقد تمت زيارة محطة معالجة المياه الثقيلة القديمة لمدينة كربلاء المقدسة اكثر من مرة للوقوف على اداء محطة الرفع الابتدائية فيها حيث تم الحصول على المعلومات التالية:

دخلت محطة معالجة المياه الثقيلة الى الخدمة في بدايات الثمانينات من القرن الماضي و تتالف محطة الرفع الابتدائية فيها من مضختين لولبيتين تميلان عن الافق بزاوية مقدارها ٣٥ درجة، و بقطر خارجي و داخلي لكل منها ٢٣٤٠ ملم و ١٤١٠ ملم على التوالي و مقدار الخطوة هو ٢٣٤٠ ملم و طول كل مضخة هو ١٧٤٠٠ ملم و تدوران بسرعة ٢٨ دورة بالدقيقة و لكل مضخة ثلاث ريش. كما و تحتوي المحطة على قناة اضافية لغرض التوسع المستقبلي. ان معدل التصريف التصميمي لكل مضخة هو ٢٩٠٠ متر مكعب في الساعة الا انه في الوقت الحالي فان المضخة تعمل بنصف او اقل من نصف طاقتها التصميمية.

و من الزيارات الميدانية للمحطة تم تشخيص العيوب التالية (لاحظ الصورتين ١ و ٢):

أ- عدم وجود صفائح التوجيه وعند الاستفسار من المهندس المسؤول بين انه تمت ازالتها لتعرضها للتاكل الشديد.

ب- وجود انبعاجات كثيرة في ريش المضختين وعند الاستفسار عن أسباب حدوثها تبين أن هذه الانبعاجات حدثت في أثناء عمليات الصيانة للمحمل السفلي و ذلك لاستخدام آلات ثقيلة (كوبلاين) لتثبيت المضخة و منعها من الطفو و ذلك لعدم وجود بوابة قبل المضختين ليتم غلقها قبل عمليات الصيانة.

٤- التمثيل الرياضي

يوضح الشكل رقم (٥) مخططا لمضخة لولبية ذات ريشتين. الريشتان مثبتتان على الاسطوانة الداخلية (ذات نصف قطر R_i) على مسار جيبي مكونتان نصف القطر الخارجي للمضخة (R_o). عند دوران المضخة دورة كاملة يقطع الجيب المائي خطوة كاملة (P). الزاوية (ψ) هي

زاوية ميلان المضخة عن الافق و الزاويتان (α و β) هما زاويتا ميل الحافة الخارجية و الداخلية للريشة عن محور المضخة على التوالي.

قام الاستاذ جرس رورس[٨] بتمثيل مسار الحافتين الخارجية و الداخلية للريشتين وسطح الماء بالمعادلات التالية:

الحافة الخارجية للريشة الأولى:

$$y = R_o \sin\phi \quad \text{.....(١).}$$

الحافة الداخلية للريشة الأولى:

$$y = R_i \sin\phi \quad \text{.....(٢)}$$

الحافة الخارجية للريشة المجاورة:

$$y = R_o \sin(\phi - 2\pi / N) \quad \text{.....(٣)..}$$

الحافة الداخلية للريشة المجاورة:

$$y = R_i \sin(\phi - 2\pi / N) \quad \text{.....(٤)}$$

و سطح الماء:

$$y = -\frac{KP}{2\pi}(\phi - \phi_o) + R_i \sin\phi_o \quad \text{.....(٥)}$$

حيث أن N عدد الريش و ϕ_o هي الزاوية الابتدائية التي عندها يبدأ الجيب المائي بالتكون (أي عندما يكون مستوى الماء مماسا للحافة الداخلية للريشة الاولى)، لذلك يمكن كتابة المعادلة التالية[٨]:

$$R_i \cos\phi_o = -\frac{KP}{2\pi} \quad \text{.....(٦)}$$

يمكن تحديد المحددات (المعايير الثابتة) للمضخة وهي:

نصف قطر المضخة الخارجي R_o

طول المضخة L

ميل المضخة $K = \tan\psi$

و هذه المعايير الثابتة غالبا ما يحددها موقع المضخة، لذلك في التصميم الأمثل يتم حساب المعايير التالية:

نصف قطر المضخة الداخلي R_i

مقدار الخطوة P

عدد الريش N

حيث:

$$0 \le R_i \le R_o$$

$$0 \le P \le 2\pi R_o / K$$

$$N = 1,2,.....$$

يمكن تعريف حجم الماء المصروف بواسطة المضخة لدورة واحدة ب V_T . و يمكننا الآن تعريف المعايير اللابعدية التالية:

النسبة الحجمية

$$v = \frac{V_T}{\pi R_o^2 P} \quad \ldots\ldots(٧)$$

نسبة أنصاف الأقطار

$$r = \frac{R_i}{R_o} \quad \ldots\ldots(٨)$$

نسبة الخطوة

$$p = \frac{KP}{2\pi R_o} \quad \ldots\ldots(٩)$$

إن التحليل البعدي يبين أن v تعتمد على N و r و p فقط[٨] . لذلك يمكن كتابة تلك الكمية بالصيغة $v(N,r,p)$. بعد إعادة ترتيب المعادلة (٧) و بالاستفادة من المعادلتين (٨) و (٩) يمكن كتابة المعادلة التالية

$$V_T = (\frac{2\pi^2 R_o^3}{K}) pv(N,r,p) \quad \ldots\ldots(١٠)$$

بمعرفة N و R_o و K ، فان مسألة تعظيم V_T نسبة الى R_i و P يمكن اختزالها بتعظيم $pv(N,r,p)$ نسبة ل r و p و كل منهما محدد ضمن الفترة [0,1] .

بفرض قيم r و p التي تعظم قيم $pv(N,r,p)$ هي r^* و p^* على التوالي، تصبح القيم المثالية ل R_i و p و V_T كالتالي:

$$R_i^* = r^* R_o \quad \ldots\ldots(١١)$$

$$P^* = \frac{2\pi R_o p^*}{K} \quad \ldots\ldots(١٢)$$

$$V_T = (\frac{2\pi^2 R_o^3}{K}) p^* v(N,r,p) \quad \ldots\ldots(١٣).$$

لقد قام الأستاذ جرس رورس بحل مسالة التعظيم و إيجاد القيم المثالية $p^*v(N,r^*,p^*)$ و $v(N,r^*,p^*)$ و p^* و r^* كدوال لعدد الريش بحل المعادلات (١١ و ١٢ و ١٣) باستخدام ال MatLAB .

تم خلال هذا البحث استخدام برنامج ال Excel لرسم الريش و مستوي الماء المكونة للجيوب المائية باستخدام المعادلات (١) و (٢) و (٣) و (٤) و (٥) و(٦) لتحديد نقاط تقاطع مستوي الماء مع الحافتين الداخلية و الخارجية للريش لمعرفة محددات الجيب المائي($\emptyset_0$ و $\emptyset_1$ و $\emptyset_2$) التي اوضحها الاستاذ جرس رورس[٨] حيث ان $\emptyset_0$ تمثل تقاطع سطح الماء مع الحافة الداخلية للريشة الاولى و يكون فيها المـاء مماسا لاسطوانة العزم و $\emptyset_1$ و $\emptyset_2$ تمثلان تقاطع سطح الماء مع الحافة الخارجية للريشة الاولى. الشكل(٨) يبين

مخططا توضيحيا لهذه المحددات. و من معرفة تلك الزوايا الثلاث يمكن معرفة مقدار زاوية صفيحة التوجيه اللازم اضافتها لمنع رجوع الماء للاسفل عند تشغيل المضخة (الاشكال ٦ و ٧ و ٨ و ٩).

٥- التصميم الأمثل

لقد ادرج الاستاذ رورس[٨] القيم المثلى التالية لمضخة ذات ثلاث ريش في نتائجه:

r^*	p^*	v
٠,٥٣٥٧	٠,٢٢١٧	٠,٢٦٩٧

لذلك و باستخدام المعادلات (٧ و ٨ و ٩ و ١٠) نحصل على النتائج التالية:

١- نصف القطر الداخلي للمضخة = ٦٢٦,٧٧ ملم.

٢- مقدار الخطوة = ٢٣٢٧,٦ ملم.

٣- مقدار التصريف الحجمي لكل دورة = ٢,٦٩٩ م^3.

٤- مقدار التصريف الحجمي في الساعة = ٤٥٣٥,٥ م^3.

٥- نسبة الزيادة في التصريف = (٤٥٣٥,٥ – ٢٩٠٠)/٤٥٣٥,٥ = ٣٦ %

٦- النتائج

لقد تم توضيح النتائج في الاشكال (٦ و ٧ و ٨ و ٩). الشكل رقم (٦) هو رسم لريشتين متجاورتين من مضخة فيتروفيوس($P = 2\pi R_i$ ، $k = \frac{3}{4}$ ، $r = \frac{1}{2}$) و لسطح الماء. من الرسم يتبين بان زاوية صفيحة التوجيه = صفر (زاوية صفيحة التوجيه = ١٨٠ – ϕ_1)، اي ان مضخة فيتروفيوس لا تحتاج لصفيحة توجيه (الشكل رقم (٧) يبين ذلك بوضوح). الشكل رقم (٨-أ) هو رسم لريشتين متجاورتين من المضخة اللولبية في محطة الرفع الابتدائية لمحطة معالجة المياه الثقيلة في كربلاء المقدسة و لسطح الماء مبينا الزوايا الثلاث المحددة للجيب المائي. و الشكل رقم (٨-ب) يوضح مقطعا للمضخة يبين الجيب المائي المتولد من دوران المضخة و الزوايا الثلاث المحددة(المنطقة الزرقاء تمثل الجيب المائي). في هذه الحالة زاوية صفيحة التوجيه = ٢٠ درجة. بملاحظة الشكل رقم(٨-ب) يمكن بسهولة بيان ضرورة اضافة صفيحة التوجيه لمنع نسبة كبيرة من المياه من الرجوع للاسفل (من حساب الفرق في مساحة الجيب المائي المتولد في حالة وجود و عدم وجود صفيحة التوجيه يمكن ايجاد نسبة الضائعات في تصريف الماء. في حالة عدم وجود صفيحة التوجيه، نسبة الضائعات تساوي تقريبا ٢٤%) اما باقي الضائعات و التي هي بحدود ٢٦% من تصريف المضخة التصميمي هو بسبب الانبعاجات الحاصلة في الريش مما يولد فراغا كبيرا بين الريش

و القناة و الذي بدوره يمنع حصر الماء و رفعه للاعلى. و الشكل رقم (٩) هو رسم للحافة الخارجية للريشة مع مستوي الماء للمضخة المقترحة و فيها زاوية صفيحة التوجيه = ٢٠ درجة.

٧- التوصيات

١- ضرورة ارجاع صفيحة التوجيه الى مكانها و بزاوية لا تقل عن ٢٠ درجة (يفضل ان تكون بين ٣٥ -٤٠ درجة لتغطية استمرارية حركة الماء) .

٢- ضرورة تعديل الريش المنبعجة بحيث تصبح عمودية على محور المضخة لضمان تكون الجيب المائي بالحجم المطلوب و ضمان حصر الماء بين الريش و القناة (المجرى).

٣- ضرورة اضافة بوابة قبل المضخات لغلقها في فترات الصيانة لتجنب طفو المضخة.

٤- اضافة مضخة لولبية بالابعاد المحسوبة في فقرة التصميم الامثل في القناة الاضافية.

٨- المصادر

١- Archimedes' screw, available at:
http//:en.wikipedia.org/wiki/Archimedes%27_screw

٢- Hanging Gardens of Babylon, available at:
http//:en.wikipedia.org/wiki/Hanging-Gardens-of-Babylon

٣- Vitruvius, available at:
http//:en.wikipedia.org/wiki/Vitruvius#Dewatering_machines

٤- de.atro-ritz.www

٥- pump-screw-landy/products/works-treatment-sewage/en/nl.landustrie.www

٦- com.spaanbabcock.www

٧- com.epicintl.www

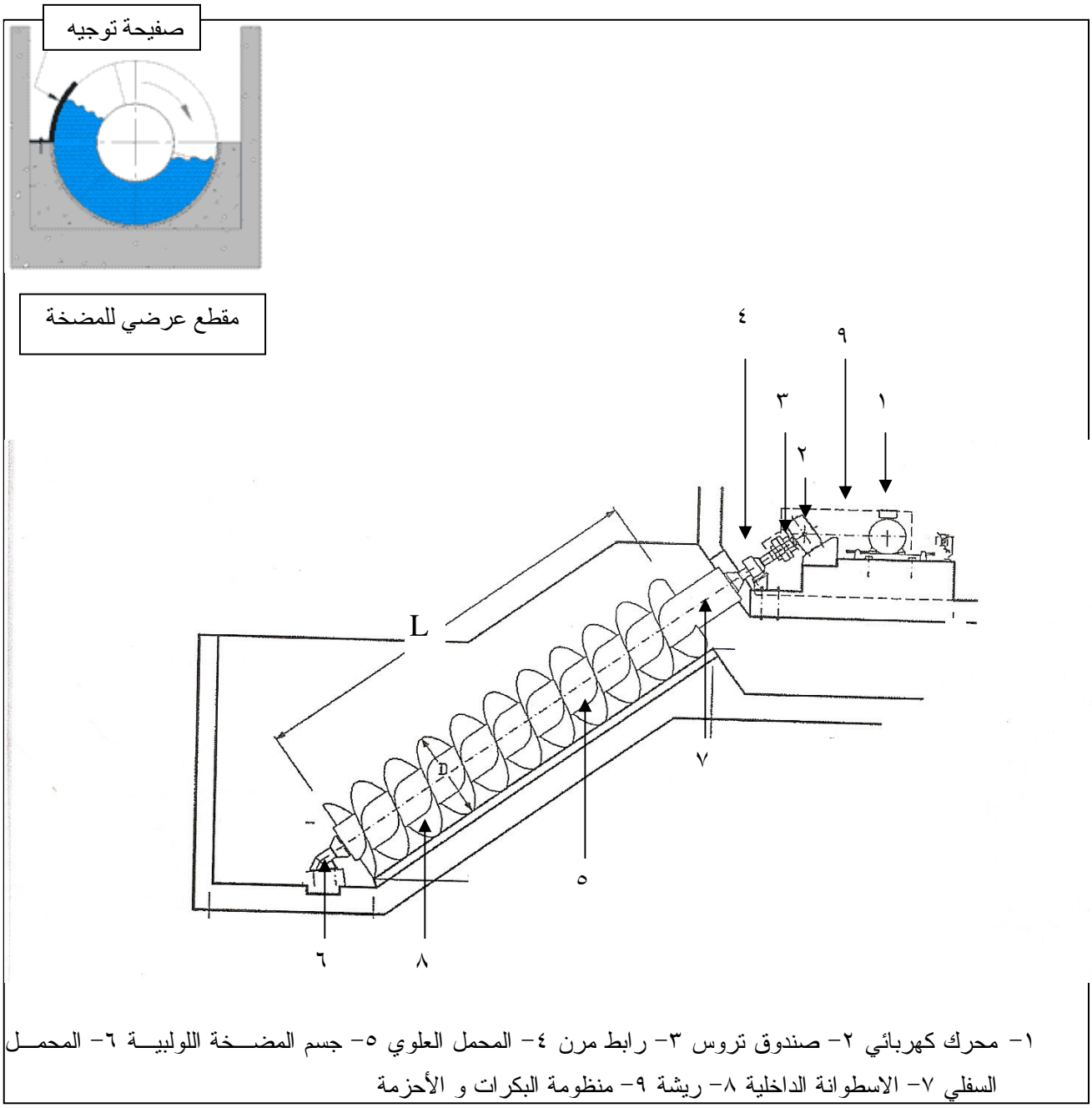
٨- Chris Rorres, 'THE TURN OF THE SCREW OPTIMAL DESIGN OF AN ARCHIMEDES SCREW',Journal of hydrolic Engineering, January 2000

المصطلحات

مضخة ارخميدس اللولبية	Archimedes Screw Pump
ريش	Flight
خطوة	Pitch
اسطوانة العزم	Torque Tube
مجرى	Trough
صفيحة توجيه	Side Profile
محرك كهربائي	Motor
بكرات و أحزمة	Pulleys and Belts
صندوق تروس	Gear Box
رابط مرن	Flexible Coupling
محامل علوية و سفلية	Upper and Lower Bearings
جيوب مائية	Water Buckets

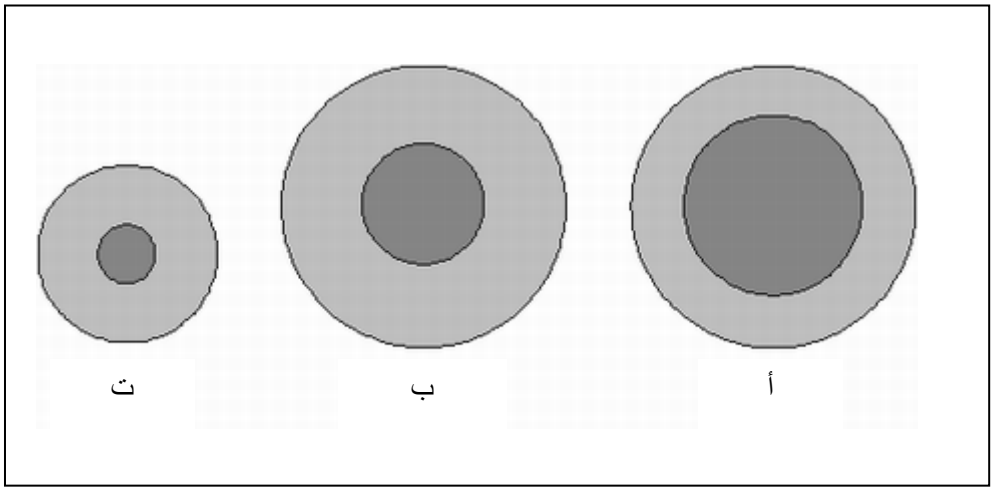
شكر و تقدير

الشكر الجزيل للدكتور لؤي الأنصاري على نقاشه القيم .



١- محرك كهربائي ٢- صندوق تروس ٣- رابط مرن ٤- المحمل العلوي ٥- جسم المضخة اللولبية ٦- المحمل السفلي ٧- الاسطوانة الداخلية ٨- ريشة ٩- منظومة البكرات و الأحزمة

شكل رقم (١): شكل تخطيطي يوضح أجزاء المضخة اللولبية

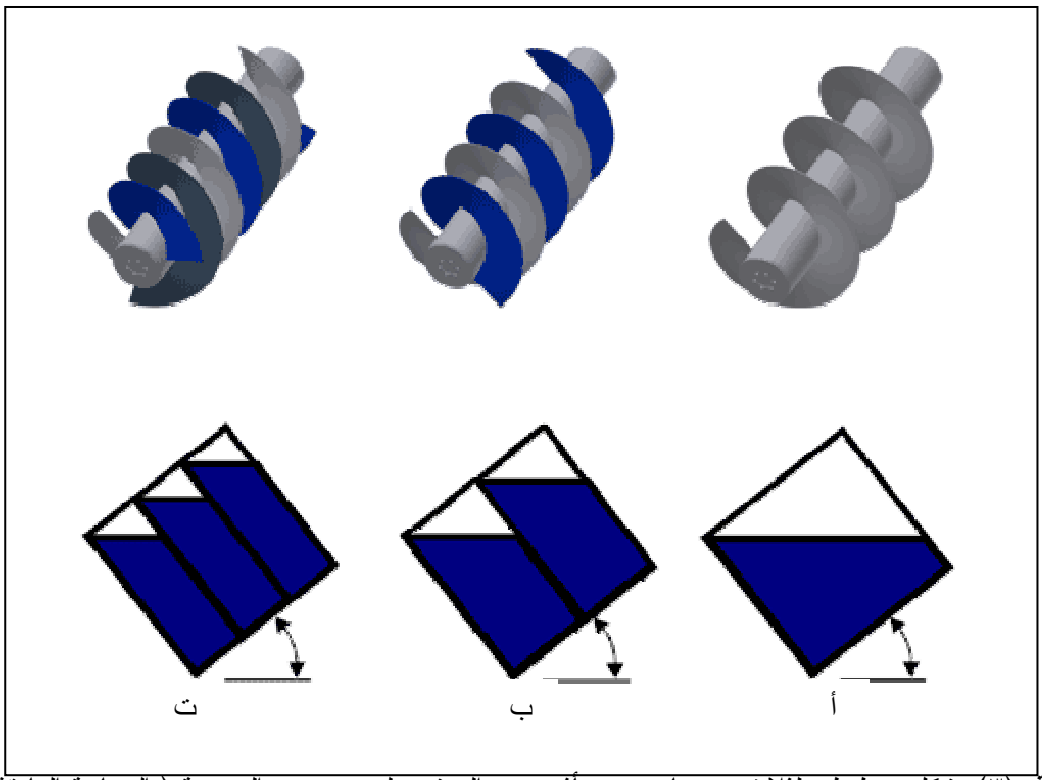


شكل رقم(٢): شكل تخطيطي يوضح ثلاث مقاطع للمضخة يبين تأثير القطر الداخلي للمضخة على تصريف المضخة (المساحة الفاتحة يتكون ضمنها الجيب المائي)[٦]

أ- نسبة مساحة الاسطوانة الداخلية (الغامقة) إلى مساحة الريشة (الفاتحة) = ٦٠%

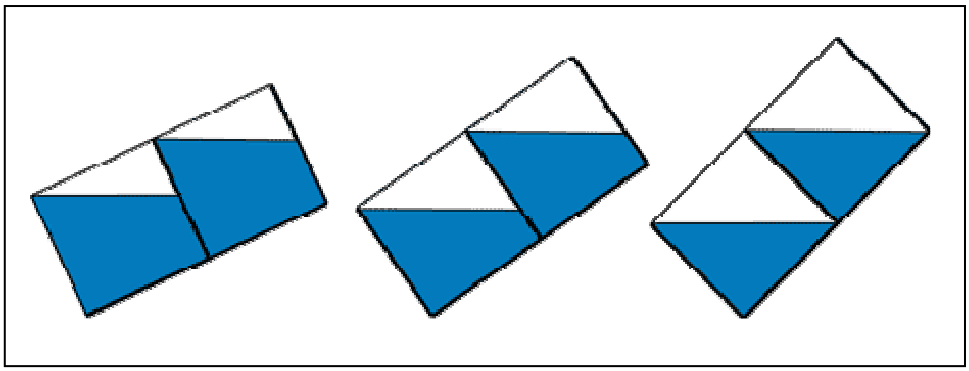
ب- نسبة مساحة الاسطوانة الداخلية (الغامقة) إلى مساحة الريشة (الفاتحة) = ١٠٠%

ت- نسبة مساحة الاسطوانة الداخلية (الغامقة) إلى مساحة الريشة (الفاتحة) = ٤٥%

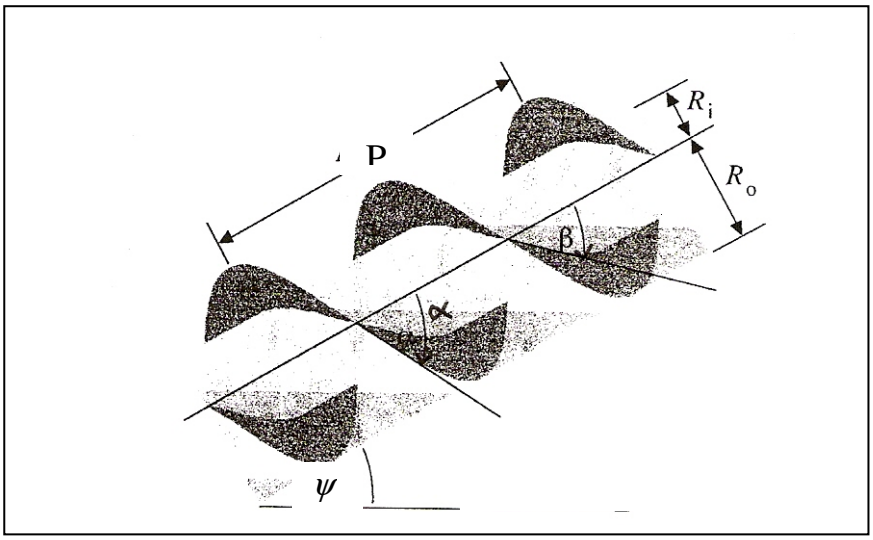


شكل رقم (٣): شكل تخطيطي لثلاث مضخات يبين تأثير عدد الريش على تصريف المضخة (المساحة الغامقة تمثل الجيوب المائية)[٦]

أ- ريشة واحدة ب- ريشتان ت- ثلاث ريش

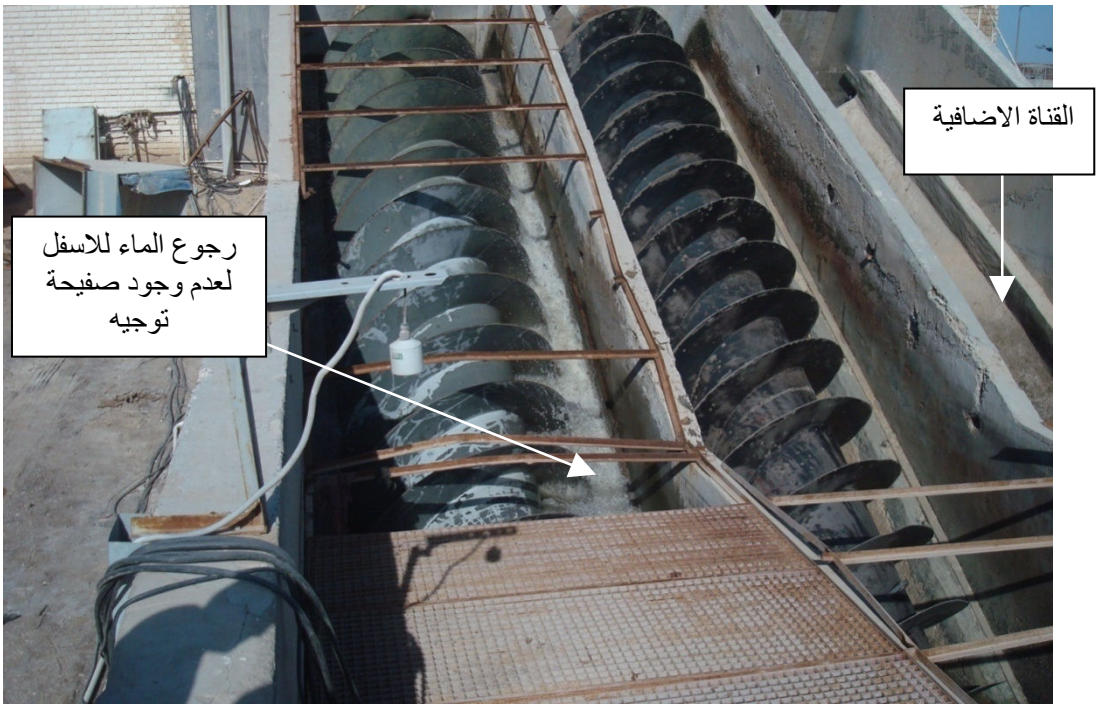


شكل رقم (٤): شكل تخطيطي يوضح تأثير زاوية ميلان المضخة عن الأفق على تصريفها (المنطقة الغامقة تمثل الجيوب المائية)[٦]

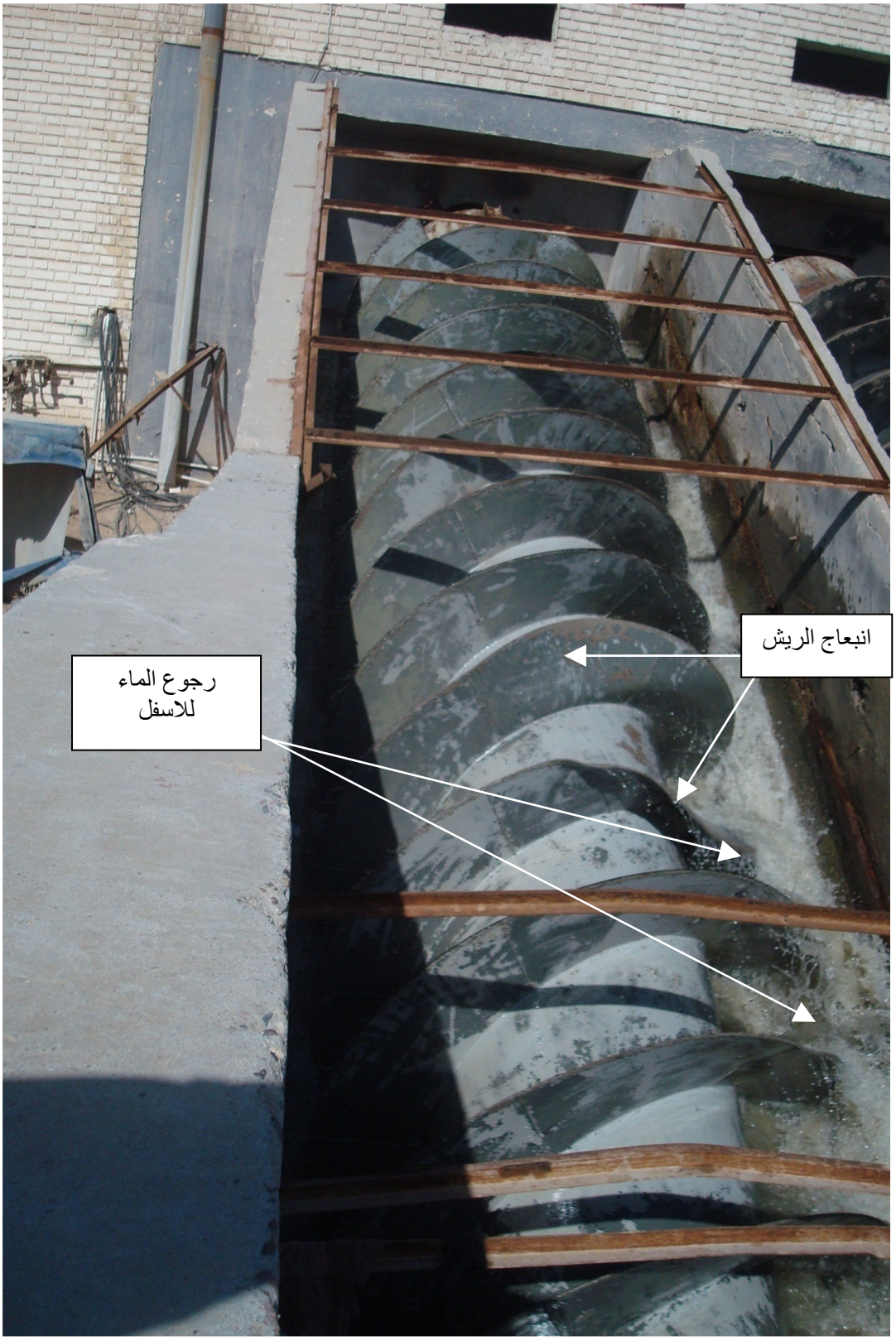


شكل رقم (٥): شكل تخطيطي لقطعة من مضخة لولبية ذات ريشتين[٨]

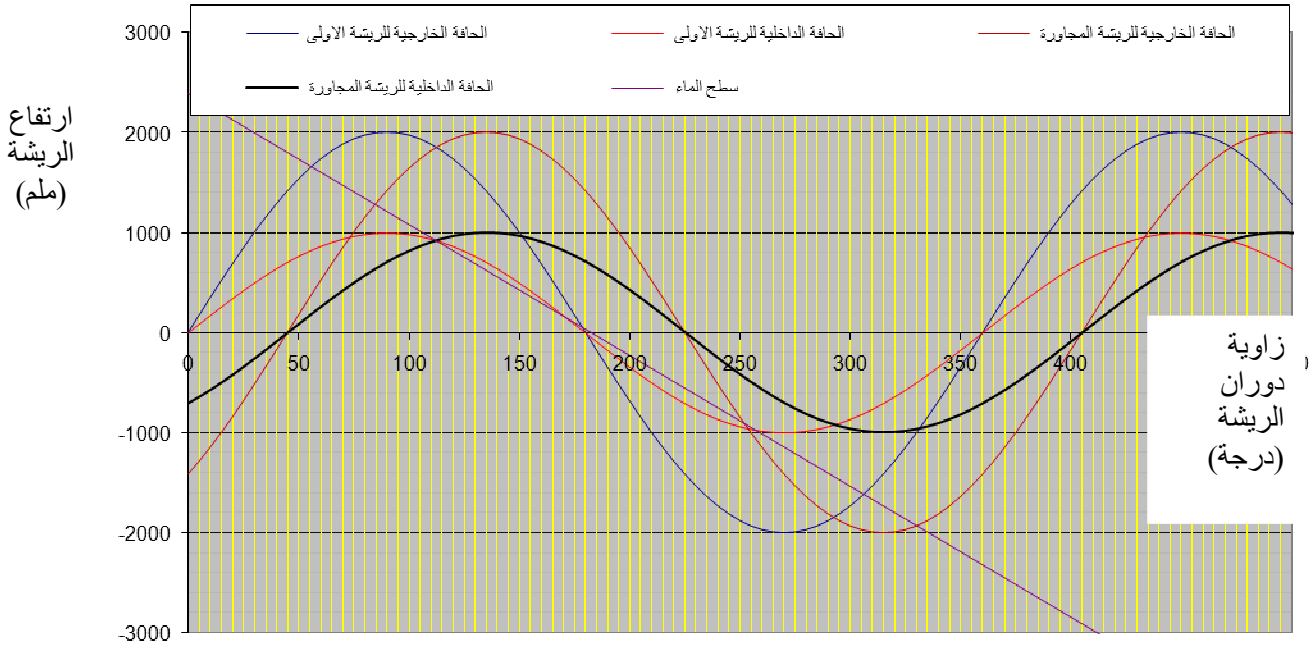
صورة (١): صورة توضح استخدام صفيحة التوجيه



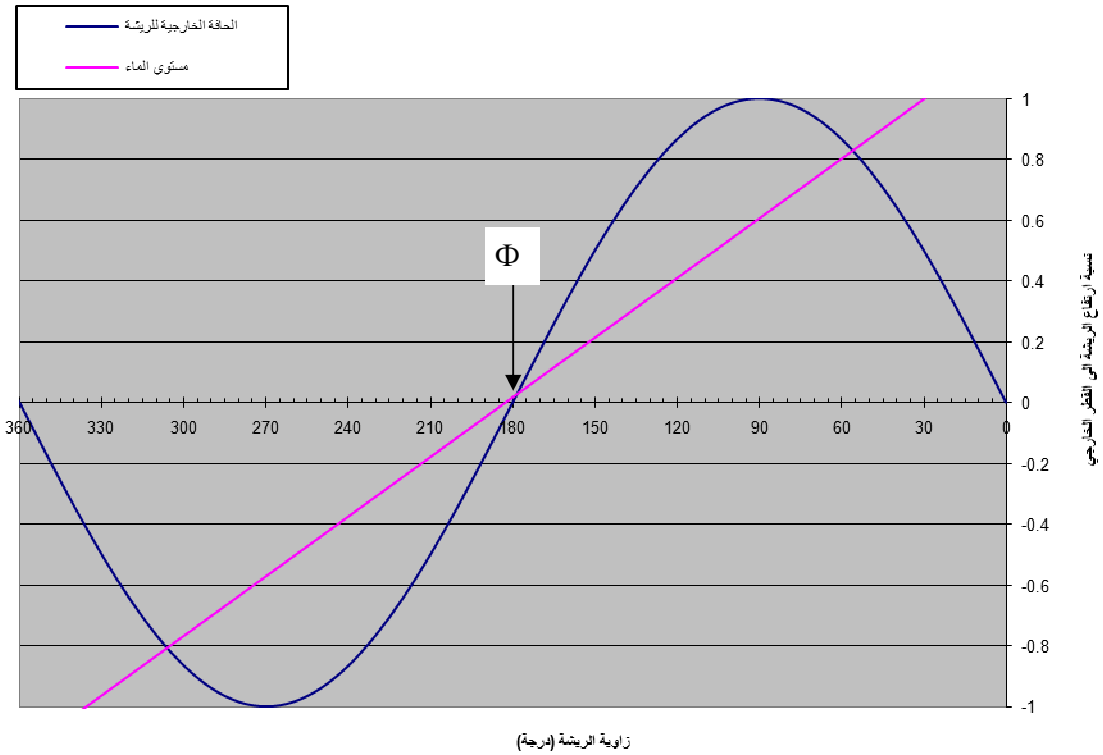
صورة (٢): محطة الرفع الابتدائية في محطة معالجة المياه الثقيلة لمدينة كربلاء المقدسة



صورة (٣): صورة قريبة للمضخة



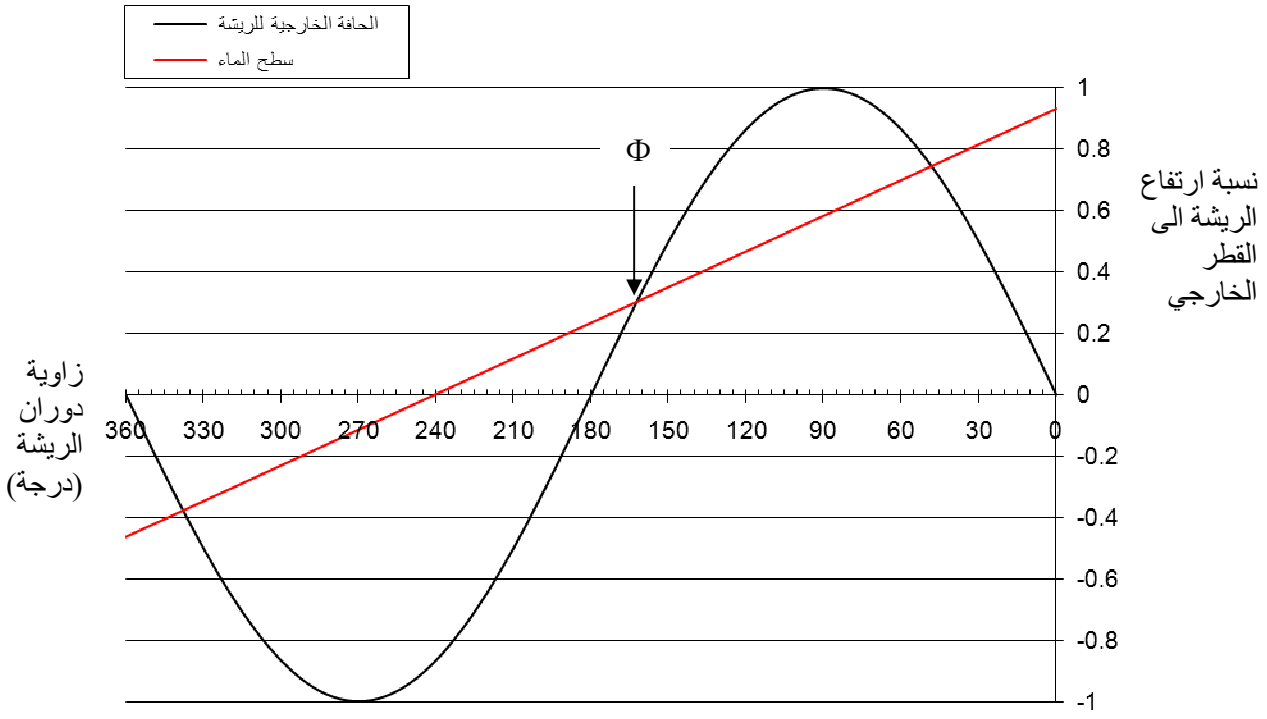
شكل رقم (٦): شكل يبين ريشتين متجاورتين لمضخة فيتروفيوس و مستوي سطح الماء.



شكل رقم (٧): شكل يبين تقاطع سطح الماء مع الحافة الخارجية للريشة الأولى لمضخة فيتروفيوس.

شكل رقم (٨): أ- شكل يبين ريشتين متجاورتين و سطح الماء و محددات الجيب المائي لمضخة محطة الرفع الابتدائية في محطة معالجة المياه الثقيلة القديمة لمدينة كربلاء المقدسة.

ب- شكل يبين مقطع عرضي لنفس المضخة مبينا محددات الجيب المائي.



شكل رقم (٩): شكل يبين الحافة الخارجية و سطح الماء للمضخة المقترحة.