جامعة البحر الأحمر

كلية الهندسة

بحث تكميلي لنيل درجة البكالريس

مرتبة الشرف بعنوان

دراسة تحليلية لإنشاء محطة توليد طاقة

في الخط الناقل للمياه من محطة إلى بورتسودان

إعداد

أبو بكر عثمان محجوب

عبد الباقي أبو البشر

عبد القادر بخيت عبد القادر

محمد عبد الله أحمد

إشراف الأستاذ

أسامة محمد المرضي سليمان

2006

الوحدة

قال تعالى:

بسم الله الرحمن الرحيم

﴿ولقد آتينا داود منا فضلا يا جبال أوبي معه والطير وألنا له الحديد﴾.

صدق الله العظيم

الإهداء

إلى التي أرضعتني الصبر والحنان مع كل بسمة رضا

...حتى تفتحت أمامي كل أبواب المستحيل...

أمي العزيزة.

إلى الذي بذل الغالي والنفيس في سبيل سعادتي

وظل شمعة تحترق لتضيء لي الطريق ... أبي العزيز

إلى إخواني وأخواتي الأعزاء إلى كل الزملاء

والزميلات إلى طلاب الدفعة العاشرة.

أزجي إليكم جهدي المتواضع هذا

الباحث

الشكر والتقدير

الشكر من قبل ومن بعد لله رب العالمين

* الشكر موصول إلي

الأستاذ أسامة محمد المرضي

المشرف على هذا البحث

* الشكر موصول إلي محطة كهرباء سنار
* الشكر أجزله إلي محطة كهرباء جبل أولياء
* الشكر أوفره إلى عميد كلية الهندسة بجامعة وادي النيل
* الشكر موصول إلى الأستاذ عماد محمود مهدي
* الشكر إلى وزارة التخطيط العمراني بولاية البحر الأحمر
* الشكر إلى الوالد العزيز عثمان محجوب
* وأسرته الكريمة بمدينة الدامر
* الشكر إلى كل من ساهم في إعداد هذا البحث
* واخيرا الشكر موصول لمكتبة الزهراء بعطبرة

قائمة المحتويات

المحتوى	رقم الصفحة
الآية	I
الإهداء	II
الشكر والعرفان	III
الفصل الأول	
المقدمة	1
الهدف من المشروع	3
التوربينات الهيدروليكية	4
مقدمة عن التوربينات الهيدروليكية	4
تصنيف التوربينات الهيدروليكية	4
أنواع التوربينات الهيدروليكية	5
التوربينات الهيدروليكية المستخدمة في السودان	6
الفصل الثاني	
مواصفات الخط الناقل للمياه	7
الإفتراضات	9
الأسس المتبعة في إختيار التوربينات	9
اختبار التوربينات على أساس شروط الإختيار	9
نتائج الإفتراضات	15
الفصل الثالث	
تصميم التوربينة المقترحة	16
مقدمة عن توربينة بلتون	16
اختيار القيم التصميمية	18
تصميم المنفث	25
حساب أبعاد التوربينة	27
حساب السرعات للتوربينة	29
قوة النفث	31
منحنيات خواص الأداء للتوربينة المقترحة	34

أنواع منحنيات خواص الأداء	34
الفصل الرابع	
الخاتمة والتوصيات	39
المراجع	40

بسم الله الرحمن الرحيم

الفصل الأول

1.1المقدمة:- INTRODUCTION

تشهد مدينة بور تسودان توسعا كبيرا خلال السنوات الأخيرة في عدد السكان ويتضاعف هذا العدد إذا تمت إضافة المناطق العشوائية في أطراف المدينة التي يسكنها النازحون واللاجئون وغيرهم.هذه الكثافة السكانية العالية تشكل ضغطا كبيرا على الموارد المائية المتاحة.

تعتمد ولاية البحر الأحمر في إمدادها بالمياه على خور اربعات لتغذية مدينة بور تسودان الذي يوفر حوالي $80,000\ m^3/day$ ما يعادل (٢٠٠٠٠٠ جالون في اليوم) من المياه وخور هندوب لتغذية مدينة سواكن وكل هذه المصادر تعتمد على هطول الأمطار وهى لاتفى بحاجة الولاية من المياه خاصة في فصل الصيف ، لذا كان لابد أن يوضع حل لمشكلة نقص المياه بالولاية وتوفيرها من مصدر دائم يكفى حاجتها في جميع الظروف من أيام السنة وقد تم وضع ثلاث خيارات لحل هذه المشكلة وهى:-

- عطبرة- بور تسودان (نهر النيل).
- خشم القربة- بور تسودان (نهر عطبرة).
- حقل ابار خور بركة.

بعد نقاش مستفيض لكل تلك الخيارات في مراحلها المختلفة تم إختيار خيار عطبرة – بور تسودان(نهر النيل) مشفوعا بالأسباب الاتية:-

- المسافة من عطبرة الي بور تسودان اقل من المسافة بين خشم القربة إلي بور تسودان(٤٦٥ كيلو متر مقابل ٦١٠كيلو متر) مما يقلل من التكلفة.
- الاثار الايجابية التي يحدثها الخط الناقل للمياه من النواحي الاجتماعية والاقتصادية بالمنطقة.
- تواجد خط السكة حديد وخط ناقل خام البترول والطريق القومي البري يساعد في أعمال الصيانة والتشغيل للخط كما يوفر الأمن والمراقبة.
- يعتبر نهر النيل أكثر ضمانا(دائم الجريان) من نهر عطبرة وحقل أبار خور بركة.
- يساعد في أعمال التعدين والتصنيع في منطقة غرب البحر الأحمر وخاصة تعدين الذهب بمنطقة ارباب.

إحتوى التقرير النهائي علي الخطة الرئيسية لتنفيذ المشروع وهي تشمل:-

- مأخذ المياه من النيل.
- خزانات معالجة المياه.
- الخط الناقل من عطبرة الي بور تسودان.
- خط فرعي لمدينة دردیب.
- خط فرعي لمدينة سواكن.
- ثمان مضخات رفع.
- سبع مضخات ضخ.
- خزانات للمياه في كل من دردیب،هيا،سنكات،جبيت،سواكن وبور تسودان.
- فترة تنفيذ المشروع عامان.

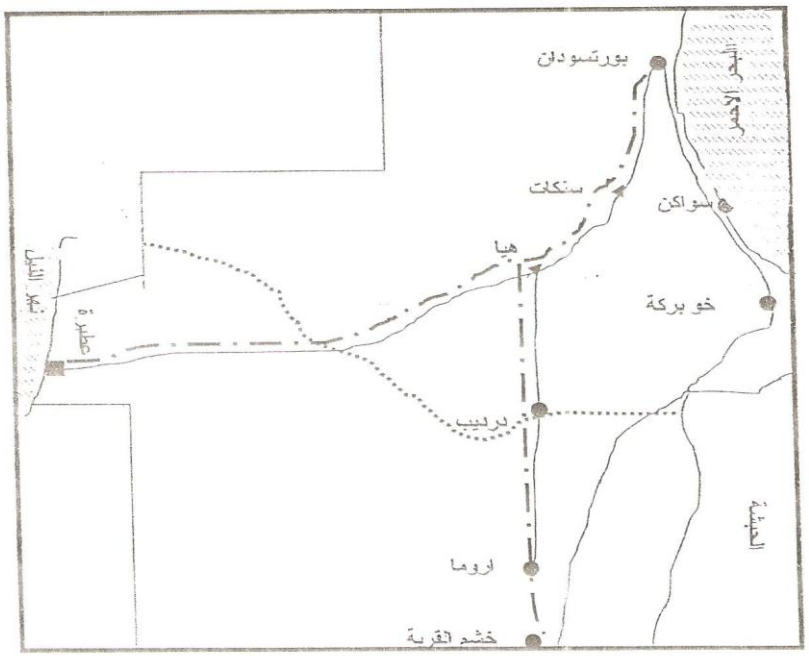
- تنفيذ شبكة مياه بور تسودان بنسبة ٨٠% في المرحلة الأولي و ٢٠% في المرحلة الثانية.
- تم إختيار مواسير من معدن الفولاذ التجاري (commercial carbon steel).

علما بأنه سوف يتم إمداد الولاية بالمياه علي مرحلتين:-

- المرحلة الأولي(phase one) (٢٥٠٠٠٠)جالون في اليوم.
- المر حلة الثانية(phase two) (٥٠٠٠٠٠)جالون في اليوم، لبداية عام٢٠٣٠م.

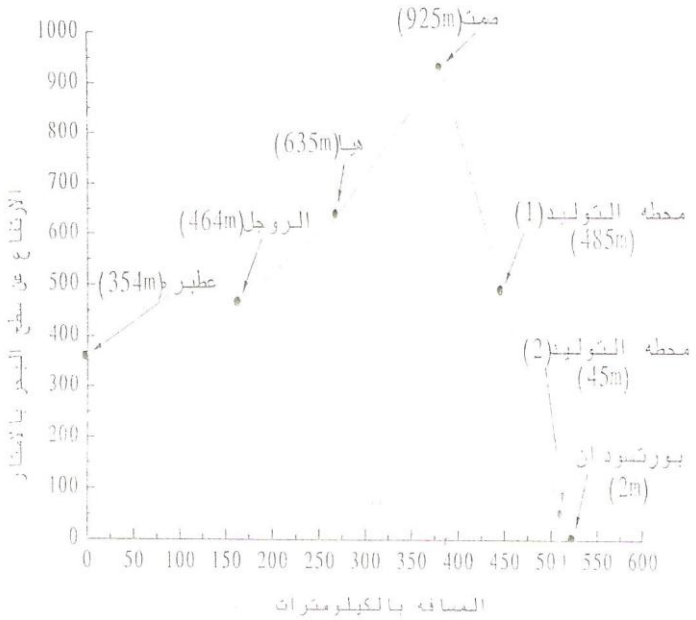
مشروع مياه بورتسودان

عطبرة – بورتسودان



1 ـــ 2

2.01



شكل (1.1) يوضح المسار المحدد لخط الأنابيب

1.2 الهدف من المشروع:- object of project

لما كانت مشكلة توليد الطاقة الكهربائية بشكل عام تقف حائلا دون توفر الكهرباء للمواطن في المدينة والقرية وكذلك تحد من تقدم البلاد صناعيا، كان ذلك لأسباب منها عدم الجدوى من المحركات الحرارية والمحطات البخارية وغيرها.

يعد التوربين المائي من أفضل الوسائل التي تستخدم كمحركات أساسية لإدارة المولد الكهربائي من حيث الجدوى الاقتصادية وتوفر المياه ومدى أمنها وعدم خطورتها بالنسبة للإنسان والبيئة (صديقة للبيئة) .

بعد الاتفاق الذي تم إبرامه لحل مشكله المياه التي تعاني منها مدينة بورتسودان وتم اختيار مشروع الخط الانبوبي عطبرة- بور تسودان (من نهر النيل) وجدنا أن المياه تكتسب طاقة وضع كبيرة جدا عند أعلى قمة في منطقة صمد (925meter)حيث ينتهي الخط بسمت تفريغ عند مدينة بوتسودان يصل إلى (2meter) طرقت لنا فكرة إنشاء توربينه مائية للاستفادة من هذا السمت لإنتاج قدره يستفاد منها في إدارة مولد كهربائي.

يهدف هذا المشروع لاستخدام هذه الطاقة الكهربائية المنتجة كتعويض للفاقد في الطاقة المدخلة عند محطة الضخ (Intake) بنسبة82% في المرحلة الأولى (٢٥٠٠٠٠جالون في اليوم).

1.3 التوربينات الهيدرولوكية Hydraulic turbines

1.3.1مقدمة:- Introduction
تعريف:

التوربينات الهيدرولوكية هي عبارة عن محركات أساسية تستخدم الطاقة المتوفرة في سريان المائع لتحويله إلى حركة ميكانيكية تستخدم في إدارة مولد كهربائي متصل مباشرة بالتوربينة للحصول على طاقة كهربائية لاستخدامها في الأغراض المختلفة.

تم إنشاء أول محطة هيدروليكية في أمريكا عام١٨٨٢م ثم انتشرت المحطات الهيدروليكية بسرعة حيث تم إنشاء أول محطة هيدروليكية في الهند عام ١٩٠٢م بسعة 4.5MW.

هيدرو كلمة تعنى ماء (water) والماء هو مصدر الطاقة المتجددة التي تمتاز بأنها نظيفة وغير قابلة للتلوث بدرجة كبيرة وصديقة للبيئة.

1.3.2 تصنيف التوربينات الهيدرولوكية:-
Classification of hydraulic turbines

يمكن تصنيف التوربينات الهيدرولوكية وفقا للآتي:-
- حسب السمت ومعدل السريان(تدفق المياه).
- حسب إسم المخترع.
- حسب مدخل السريان إلى الريشة.
- حسب إتجاه السريان.
- حسب وضع عمود التوربينة (افقي- رأسي).
- حسب السرعة النوعية.

ويمكن ذكر انواع التوربينات وفقا للتصنيف أعلاه كما يلي:-

- **حسب السمت ومعدل السريان إلى:-**

- توربينات دفعية(Impulse turbine)تحتاج إلى سمت عالي ومعدل سريان منخفض.

- توربينات رد فعلية:(Reaction turbine)تحتاج إلى سمت منخفض ومعدل سريان عالي.

في الواقع هناك نوعان من التوربينات رد الفعلية إحداهما يحتاج إلى سمت ومعدل سريان متوسطين. أما النوع الأخر يحتاج إلي سمت منخفض ومعدل سريان عالي.

- حسب إسم المخترع: Name of originator

- توربينة بلتون سميت على إسم المخترع Allen pelton من كاليفورنيا وهى توربينة دفعية.
- توربينة فرانسيس سميت على أسم المخترع (JamesBich.Francis) وهى توربينة رد فعلية.
- توربينة كابلان وسميت على إسم الدكتور Victor Kaplan وهى رد فعلية.

- **حسب مدخل السريان**:-
  - توربينات السريان إلى الداخلIn ward flow turbine
  - توربينات السريان إلى الخارج out ward flow turbine
- **حسب إتجاه السريان** :-
  - توربينات ذات سريان مماسى (تور بينة بلتون)
  - توربينات ذات سريان قطري (تور بينة فرانسيس الا ولى).
  - توربينات سريان محورى (توربينة كابلان).
  - توربينات ذات سريان مختلط (قطرى ومحورى)مثل تور بينة فرانسيس الحديثة .
- **حسب وضع عمود التوربينة**:-

في التوربينات ص غيرة الحجم يمكـن وضـع عمود التوربينة أفقيا وفى التوربينات كبيرة لحجم يفضل أن يكون وضع العمود رأسيا.

- **حسب السرعة النوعية** :-

تعُرف السرعة النوعية بأنها سرعة التوربينات المتشابهة في الشكل والأبعاد وزوايا الريش عندما تنتج التوربينات وحدة القدرة 1kwتحت علو مقداره وحدة العلو1m .

- يستخدم عند السرعة النوعية المنخفضة توربينات دفعية .
- يستخدم عند السرعة النوعية العالية توربينات رد فعلية.

ويمكن أن نتناول أنواع التوربينات أعلاه بالتفصيل كما يلي:-

1.3.3التوربينات الدفعية : Impulse turbine

توربينة بلتون: pelton turbine

في التوربينات الدفعية يتم تحويل طاقة الضغط إلى طاقة حركة وذلك عند خروج المياه من المنفث بسرعة وقوة دفع عاليتين لإدارة عجلة التوربينة.

تتكون توربينة بلتون من عجلة (wheel)وتكون متصلة بالعمود القائد والذي يستخدم لإدارة المولد الكهربـي ويتصل بالعجلـة عـدد مقـدر مـن الأقـداح (Buckets)، أنـبوب التغذية(penstock) وهـو الأنـبوب الـذي ينقل المياه من المسرب العلوي (أعلى الخزان) وفى نهايته يوجد منفث بـه صمام حربة (spear valve) للتحكم في معدل السريان ،المياه بعد التصادم مع الأقداح تقع في المسرب السفلى (tail race) (الخزان الأسفل ،المنفث الكابح (Breaking Nozzle)ينتج نفثا في اتجاه مضاد لحركة العجلة إما للتحكم في السرعة أو لإيقاف العجلة في اقل زمن ممكن ،الغلاف (casing)وهو يعمل على جمع المياه المبعثرة من الشتات وإرسالها إلى المسرب السفلى.

1.3.4التوربينات رد الفعلية: Reaction turbines

في هذا النوع من التوربينات تستخدم كل من طاقتي الوضع والحركة وأثناء مرور المياه خلال أجزاء التوربينة يتحول جزء كبير من طاقة الضغط إلى طاقة حركة. ومن هذه التوربينات توربيني فرانسيس وكابلان.

توربينة فرانسيس: Francis turbine

تتكون من غلاف حلزوني يستخدم كغطاء للتوربينة من الخارج ،وعضو ساكن بـه ريش ثابتة تعمل على توجيه المياه إلى الريش وتتحكم في معدل السريان الداخل للتوربينة ويتم تغيير زاوية ريش التوجيه بجهاز تحكم ، عضو دوار بـه ريش متحركة بعدد مقدر تستخدم في إدارة العمود المتصل بالمولد الكهربائي ،وعند مخرج التوربينة يوجد أنبوب يسمى بأنبوب السحب يستخدم لسحب المياه من داخل التوربينة إرسالها إلى المسرب السفلى،ويمكن لتوربينة فرانسيس أن تكون ذات انسياب من الداخل حيث تدخل المياه من المحيط الخارجي للريش المتحركه ،ويمكن أن تكون ذات انسياب إلى الخارج حيث تدخل المياه من المحيط لداخلي للريش المتحركة.

توربينة كابلان: Kaplan turbine

هي إحدى التوربينات ذات الإنسياب المحوري ويكون فيها عمود التوربينة دوما في وضع رأسي ومتصلة بنهايته كتلة تسمى الصرة(hub)تحتوى هذه الصرة على عدد من الريش يتراوح من 4-6 ريش هذه الريش يمكن تغيير اتجاهها حسب المطلوب (غير مثبتة مع الصرة) تعمل توربينة كابلان تحت سمت منخفض نسبيا ومعدلات انسياب مرتفعه لذلك تعتبر هي الأفضل في التوليد الكهربائي المائي من الخزانات المقامة على الأنهار.

1.4 التوربينات المستخدمة في السودان:-

1.4.1 التوربينات المستخدمة في خزان سنار:-

تم إنشاء هذه المحطة في عام 1962م وتحتوى على تور بينتين من نوع كابلان قدرة كل منهما 10600 hp،ومع كل توربينة مولد حمولته 9400 kvA أي ما يعادل 7.5MW كما يبلغ قصى تصريف لكل توربينة $91.4m^3/sec$ ويمكن تشغيل التوربينات عندما يكون فرق المنسوب مابين (17m-5m).

1.4.2محطة كهرباء الروصيرص:-

أنشئت هذه المحطة في عام 1971م وتحتوى على عدد سبع توربينات من نوع كابلان قدرة كل منها 40mw.

1.4.3التوربينات المستخدمة في خزان جبل أولياء:-

كان خزان جبل أولياء مقتصر على تنظيم إمداد مياه الري منذ إنشاؤه في عام (1937م-1933م).ثم لاحقا تم إضافة محطة توليد كهربائي تتكون من ثمانين توربينة مروحية مثبتة بالمولد مباشرة وتم تركيبها في شكل مصفوفات ، عدد الوحدات فيها 40 وحدة تتكون من توربينين في كل صف وعمودين تعمل هذه التوربينات تحت سمت يتراوح ما بين (1 88m-5m) وتنتج كل وحدة0.76MWحيث يبلغ إنتاج المحطة باكملها ٠30.4MW

1.4.4محطة توليد سد مروي:-

هذه المحطة الان تحت الإنشاء لم يكتمل العمل فيها ولكن حسب ما جاءت به خطة المشروع أنه سيتم تركيب عشر توربينات من نوع فرانسيس كل توربينة متصلة بمولد كهربائي ينتج 125 MW حيث يبلغ الإنتاج الكلى للمحطة 1250 MW.

هنالك مشروع خشم القربة ولكنه موسمي الإنتاج المتحول لمصلحة المصنع وتشغيله.

2.1.1مواصفات الخط الناقل للمياه:-Design data of pipeline

صمم هذا الخط على القيم التصميمية الآتية:-

- درجة حرارة الماء المنساب عند مدخل الأنبوب35°C
- وضع الأنبوب فوق سطح الأرض (غير مدفون).
- متوسط درجة الحرارة للمياه داخل الأنبوب 35°C
- أقصى ضغط ضخ في الوضع العام حوالي 80bar.
- يتم إختيار موضع محطات الضخ حسب الطريق الذي تم اختياره .

إختيار أبعاد ومقاييس الأنبوب يعتمد على الآتي:-

- سرعة السريان داخل الأنبوب تتراوح بين(1~2 m/s).
- الضغط الأقصى الداخلي 90 bar.
- أعتبر قطر الأنبوب 60 inches.
- تم اختيار نوع مادة الأنبوب (commercial carbon steel)الفولاذ التجارى ودرجته حسب الخط المتبع .

2.1.2مواصفات الخط المتبع (عطبرة- وبور تسودان):-

- نوع مادة الأنبوب (commercial carbon steel) هذا النوع من المواد يتم تصنيعه بدرجات متفاوتة إعتمادا على الضغط التصميمي الداخلي .درجة المادة للأنبوب المختارة لهذا الطريق هو (X52).
- الضغط التصميمي الداخلي :

الضغطالتصميمى الداخلىللأنبوب 50 bar.

- سمك جدار الأنبوب :

أقل سمك جدارا للأنبوب(X52) عند ضغط 40barهو 15mm.

الضغط الخارجي و الداخلي لسعات مختلفة من الأنبوب:

Capacities (m^3/day)	In let pressure (bar)	Outlet pressure(bar)
100.000	62	89.27
200.000	80	84.35

- القطر الداخلي و الخارجي للأنبوب :-

القطر الداخلي و الخارجي على طول الأنبوب ثابت لمختلف السعات

Capacities (m^3/day)	Outside diameter (mm)	Inside diameter (mm)
100.000	1524	1485
200.000	1524	1485

- قدرة الضخ (pumping power):-
- للمرحلة الأولى(٢٥٠٠٠٠ جالون في اليوم) قدرة الضخ 9.453MW.
- للمرحلة الثانية (٥٠٠٠٠٠ جالون في اليوم) قدرة الضخ 26.65MW.
- مواقع محطات الفتح :-location of pumping power
- للمرحلة الأولى (٢٥٠٠٠٠جالون في اليوم) يوجد موقع واحد للضخ عند مأخذ المياه.
- للمرحلة الثانية (٥٠٠٠٠٠ جالون في اليوم) هنالك ثلاثة مواقع للضخ على طول الأنبوب.
  - الموقع الأول (9.6 MW)
  - الموقع الثاني(6.172 MW)
  - الموقع الثالث (10.87 MW).

2.2 الإفتراضات: ASSUMPSION

2.2.1 الأسس المتبعة في إختيار التوربينات:-

عند إختيار النوع المناسب لتوربينة مائية للإيفاء بغرض محدد مطلوب منها هنالك عدد من الأسس والضوابط يجب إتباعها وهى :-

- **السرعة النوعية: Specific Speed**

إذا كان العلو المتوفر للتوربينة صغير والقوة المنتجة كبيرة يجب إختيار توربينة ذات سرعة نوعية عالية .

- سرعة الدوران:-

تعتمد قيمة سرعة الدوران على السرعة النوعية للتوربينة .أيضا سرعة الدوران للمولد الكهربائي المتصل مع التوربينة يعتمد على التردد وعدد أزواج الأقطاب للمولد .

- **الكفاءة: I:fficiency**

يجب إختيار التوربينة لأعلى قيمة ممكنة من الكفاءة لكل ظروف التشغيل .

- **التشغيل عند الأحمال الجزئية :-**

الكفاءة عند الأحمال الجزئية تكون أقل قيمة قصوى للكفاءة ومن ناحية اقتصادية يجب تشغيل التوربينة بالأحمال القصوى للوصول إلى أكبر كفاءة ممكنة.

- **التكهف:Cavitation**

لتفادى حدوث التكهف يجب تشغيل التوربينة في ظروف التشغيل الآمنة من حيث قيمة ومعامل التكهف وبالتالي إستخدام أطوال مناسبة لأنابيب السحب.

- **موضع عمود التوربينة:**

بالنسبة التوربينات الضخمة يفضل أن يكون عمود التوربينة في وضع رأسي مع ملاحظة أن توربينة كابلان عمودها في وضع رأسي علي الدوام.

- **العلو : Head**

لعلو بين (350-150m)يمكن إستخدام أما توربينة بلتون أو فرانسيس ويكون هناك تفضيل في الإختيار بين هاتين التوربينتين لعلو أكبر من (350m)توربينة بلتون.

لعلو بين (150m-60m)تستخدم توربينة فرانسيس بصورة أساسية .

لعلو أقل من 60mمثلا بين (60m-30m)يمكن إستخدام أما فرانسيس أو كابلان وتراعى في هذه الحالة الأفضلية .

لعلو أقل من 30mحتى15mتستخدم توربينة كابلان بصوة أساسية.

2.2.2إختيار التوربينات على أساس شروط الإختيار:-

فرانسيس : Francis turbine

العلو: Head

أقصى علو تعمل علية توربينة فرانسيس هو (350m).

بافتراض كفاءة كلية 85%، القدرة المتولدة تحسب من العلاقة :-

$$P=\rho *g*Q*H *\eta_{o}$$

حيث:-

P= القدرة الناتجة بالكيلو واط (KW)

ρ = كثافة الماء بالكجم/متر ٣ (RG/M3)

Q= معدل الانسياب الحجمى بالمتر ٣/ثانية

H= السمت المتاح بالمتر (m)

η_{o} = الكفاءة الكلية للتوربين

Head(m)	Discharge(m^3/s)	Efficiency%	Out put power
150	1.157	65	1106.64
200	1.157	70	1589.02
250	1.157	75	2128.16
300	1.157	80	2724.03
350	1.157	85	3376.7

تور بينة كابلان :-
اقصى علو تعمل عنده هذه التوربينة (60M)،بافتراض اقصى كفاءة كلية للتوربينة 85% ، القدرة المتولدة تحسب كالآتي:-

$$P=\rho *g*Q*H* \eta$$

Head (m)	Discharge (m^3/s)	Efficiency	Out put Power(kw)
20	1.157	65	147.60
30	1.157	70	238.35
40	1.157	75	340.50
50	1.157	80	454.00
60	1.157	85	578.86

التوربينات المصفوفة (hydro matrix turbine):-

وهى جيل جديد من توربينة كابلان تكون تكون في شكل مصفوفات تعمل تحت علو منخفض جدا يتراوح مابين

(1.88m-5.4m) ومعدل تصريف ($17.3m^3/s$) والجدير بالذكر أنها تكون مغمورة داخل الماء كليا بما فيها المولد ،بافتراض كفاءة كلية قصوى 85%تحسب القدرة المتولدة كالآتى:-

$$P=\rho*g*Q*H*\eta_{o}$$

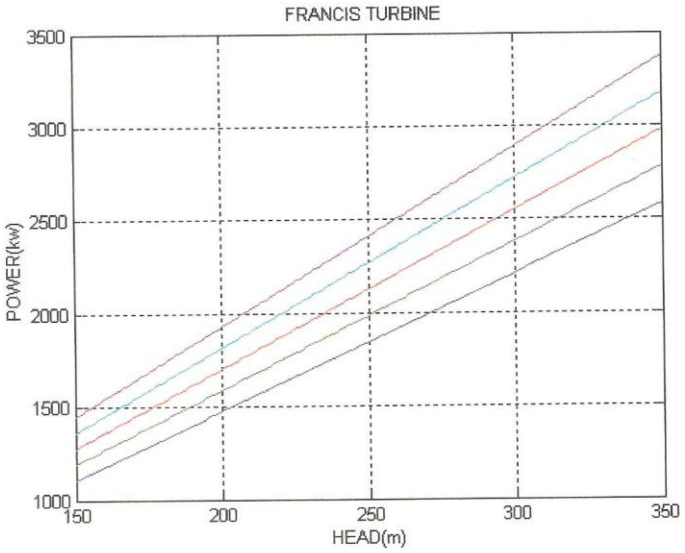
Head(m)	Discharge(m^3/s)	Efficiency	Output power(kw)
1.88	1.157	65	13.87
2.9	1.157	70	23.04
4.00	1.157	75	34.05
4.87	1.157	80	44.20
5.43	1.157	85	52.40

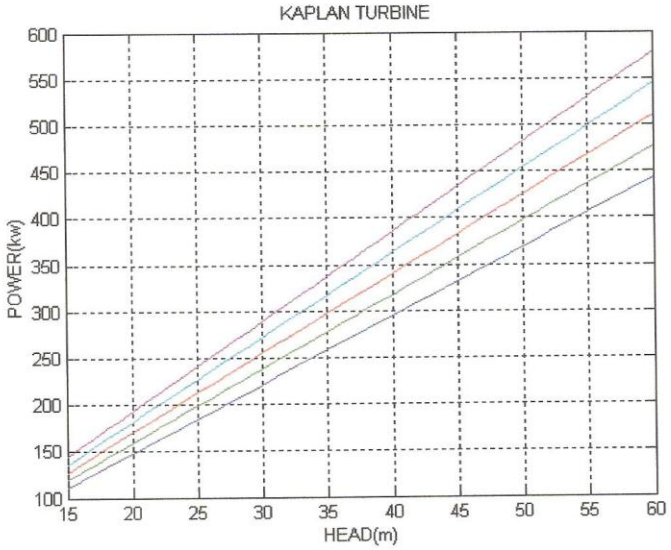
توربينة عجلة بلتون:-pelton wheel
تستخدم لعلو أكثر من(35OM)بافتراض أقصى كفاءة كلية قصوى 85%

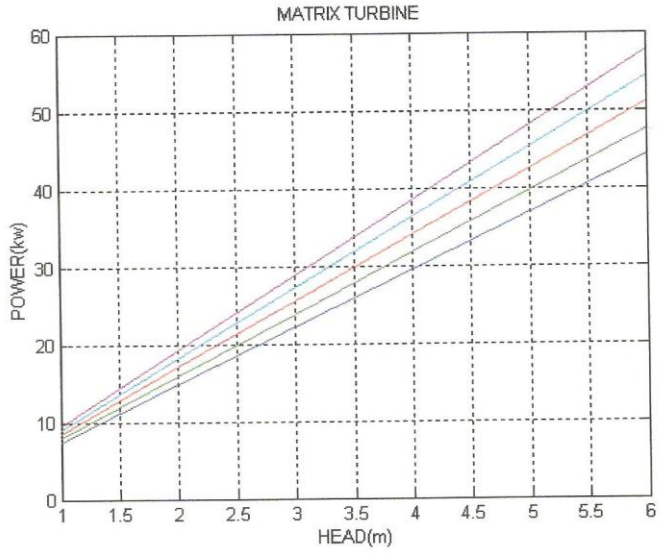
القدرة المتولدة تحسب كالآتي :-،

$$P=\rho *g*Q*H*\eta_{o}$$

Head(m)	Discharge (m^3/s)	Effciency	Output power(kw)
350	1.157	65	2582.20
380	1.157	70	3019.14
410	1.157	75	3490.18
440	1.157	80	3995.30
470	1.157	85	4534.40


FRANCIS TURBINE
POWER(kw)
HEAD(m)
3500
3000
2500
2000
1500
1000
150
200
250
300
350


KAPLAN TURBINE
POWER(kw)
HEAD(m)
600
550
500
450
400
350
300
250
200
150
100
15
20
25
30
35
40
45
50
55
60


MATRIX TURBINE
POWER(kw)
HEAD(m)
0
10
20
30
40
50
60
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4
4.5
5
5.5
6

PELTON WHEEL
POWER(kw)
HEAD(m)
2000
3000
4000
5000
6000
7000
8000
9000
300
400
500
600
700
800
900
1000

2.2.3 نتائج الإفتراضات:-

من الجداول السابقة يلاحظ أنه عند أسمات مختلفة ومعدلات سريان ثابتة (معدل السريان المتاح) وبإفتراض كفاءات كلية متباينة نجد أن القدرة الناتجة لتوربينة عجلة بلتون أكبر من القدرة الناتجة لبقية التوربينات (توربينة فرانسيس ، توربينة كابلان وتوربينة المصفوفة) كما أن المخططات المرفقة أبرزت نفس النتائج .

الجدير بالذكر أن التوربينات رد الفعلية (توربينة فرانسيس ، توربينة كابلان وتوربينة المصفوفة) تعمل تحت أسمات منخفضة نسبيا ومعدلات سريان عالية جدا .حيث يصعب توفيرها من خط مياه عطبرة بورتسودان فقد وجدنا في زيارات ميدانية إلى بعض الخزانات المقامة على النيل التي تعمل بالتوربينات رد الفعلية أنها تعمل تحت سمات منخفضة ومعدلات سريان عالية تصل في بعض الأحيان $17M^3/s$ كما في خزان جبل أولياء الذي يعتبر اقل معدل سريان للتوربين هذا المعدل يعتبر قليل جدا لباقي التوربينات في الخزانات الأخرى كخزان سنار الذي يحتاج إلى $23m^3/$عندما يعمل على إنتاج نصف الطاقة القصوى .

بناء على كل ماذكر يتضح عدم إمكانية إستخدام كل من توربينة (فرانسيس ،كابلان ،هايدروماتركس) لعدم إبقاء معدل السريان بالقيمة المطلوبة علية يكون إختيار توربينة بلستون لهذا الخط هو افضل الخيارات وهى التي سوف يقوم عليها تصميمنا.

الفصل الثالث

3.0تصميم التوربينة المقترحة

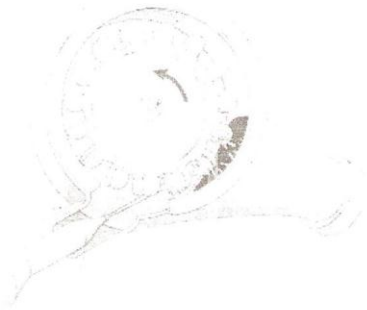
3.1مقدمة عن توربينة بلتون:-

تصنف توربينةعجلة بلتون ضمن التوربينات الدفعية وتعتمد على القوة المتولدة من منفث يستخدم في إدارتها ، يصطدم المنفث بأقداح التوربينة نتيجة للتغيير في كمية الحركة منتجا قوة على الأقداح هذه القوة تنتج شغل على التوربينة بعدها تغادر المياه التوربينة بعد أن تفقد كل طاقتها (طاقة الوضع المخزونة في المياه) في أحسن الأحوال .

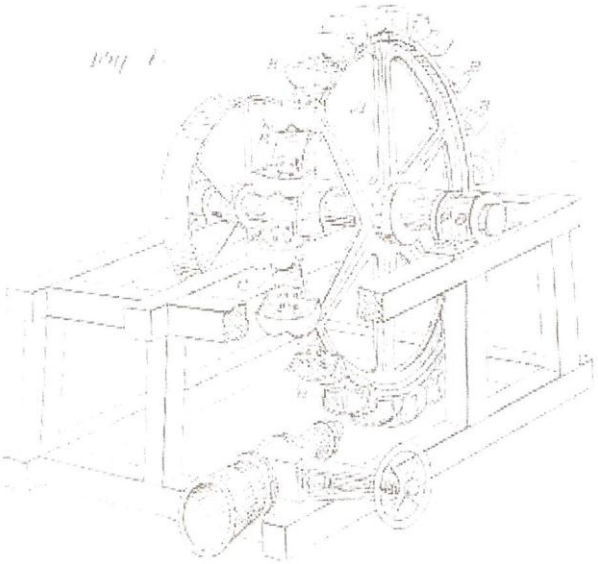
في عام 1866م قام العالم صمويل نابت **"Samuel knight"** باختراع عجلة سميت باسمه "عجلة نابت" "knight wheel"هذه العجلة تعمل بقدح مفرد ومن الملاحظ في هذه العجلة عدم الاستفادة من كل طاقة الوضع بالمياه ، في عام1879م قام العالم لستر بلتون بتعديل على عجلة نابت وقام بتصميمها على قدح مزدوج لاستفادة من كل طاقة الماء وبالتالي رفع كفاءة العجلة و هذا ما يميز ها عن عجلة نابت "knight wheel". وفى عام 1895م طور العالم وليم دُبّل في عجلة بلتون وصمم أقداحها على شكل أسطواني "cylindrical" بدلا عن الشكل الإهليجى "elliptical"وهذا التعديل الجديد رفع من كفاءة عجلة بلتون إلي 92%.

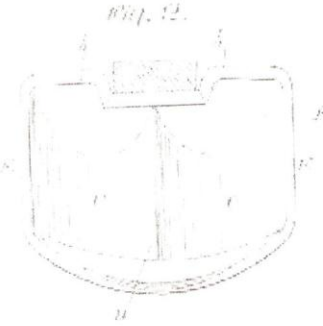
يمكن لتوربينة بلتون أن تعمل بمنفث واحد أو عدة منافث حتى 6 منافث كحد أقصى حسب القدرة المطلوبة وكمية المياه المتوفرة ، حيث نجد أنة حتى$12m^3/s$يمكن استخدام منفث واحد فإذا زاد معدل الانسياب عن هذا الحد تزيد عدد المنافث.

تعمل تور بينة بلتون على مبدأ قانون نيوتن الثاني .



نموذج لتوربينة بلتون بمنفث واحد





3.1 إختيار القيم التصميمية:-

3.1.1 السرعة النوعية "specific speed"

السرعة النوعية للتوربينات المائية هي سرعة التوربينات المتشابهة في الشكل والأبعاد وزوايا الريش عندما تنتج التوربينات وحدة القدرة تحت علو مقداره وحدة العلو. ويتم تحديد السرعة بواسطة المنتج ويتم تحديدها بالرجوع إلي الكفاءة القصوى.

تعطى السرعة النوعية بالعلاقة الآتية:-

$$Ns = N\sqrt{P}/H^{(5/4)} \qquad \text{(Dimensioned paromter)} \rightarrow (1)$$

OR ;

$$Ns = \Omega\sqrt{(P/\rho)}\ /g*H^{(5/4)}$$

(Dimensionless Parameter) → (2)

حيث:-

Ns =السرعة النوعية "Specific speed".

N =السرعة الدورانية "Rotating speed".

P =القدرة "out put power".

ρ=كثافة=$10^3 kg/m^3$ "density".

H=العلو المتوفر "Head available".

g=عجلة الجاذبية الأرضية
"gravity acceleration of the earth".

Ω= السرعة الزاوية(CPS)

من المعادلة(1) :

Put:

$$P=\rho*g*Q*H*\eta_{o}$$

$$Ns=N\sqrt{}(\rho*g*Q*H*\eta_{o})/H^{(5/4)}$$

$$=N\sqrt{}(\rho*g*Q*\eta_{o})*H^{(1/2)}\ /H^{(5/4)}$$

$$=3.13\ N\sqrt{}(Q*\eta_{o})/H^{(3/4)}$$

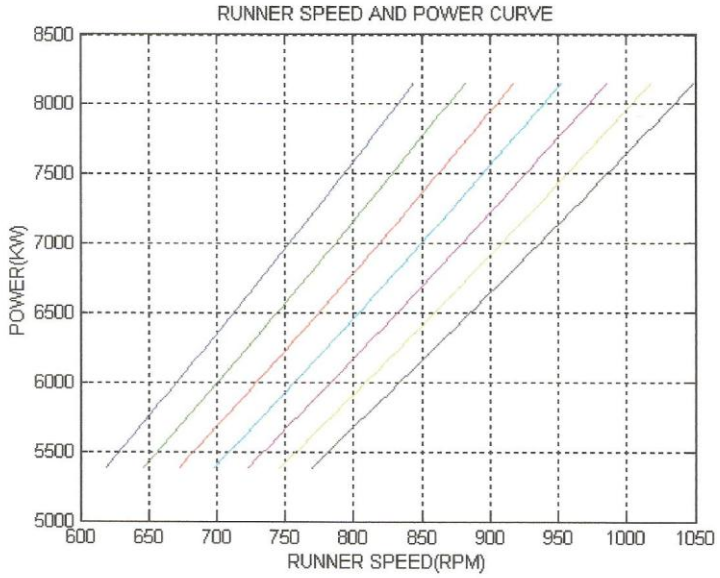
من التجارب المعملية وجد أن السرعة النوعية تتراوح بين(12-30) وبأخذ قيم مختلفة للعلو والكفاءة مع اعتبار أقصي كفاءة 85% :-

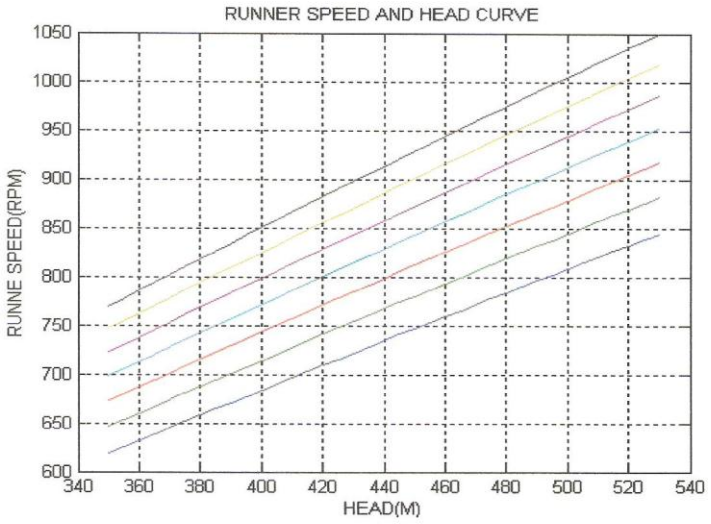
HEAD(m)	FLOW RATE	SPECIFIC SPEED	EFFICIENCY (%)	"N"(RPM)
350	1.157	12	55	389
380	1.157	15	60	495
410	1.157	18	65	604
440	1.157	21	70	716.2
470	1.157	24	75	831
500	1.157	27	80	948
530	1.157	30	85	1067.6

من المعادلة (١):

يمكن حساب أقصي قدرة بمعلومية سرعات الدوران والسرعات النوعية أعلاه كما في الجدول أدناه:-

Head (m)	Specific speed	"N" (RPM)	out put power(kw)
350	12	389.0	2180.9
380	15	495.0	2584.8
410	18	604.0	3023.0
440	21	716.2	3491.4
470	24	831.0	3994.5
500	27	948.0	4534.5
530	30	1067.6	5021.4


RUNNER SPEED AND POWER CURVE
POWER(KW)
RUNNER SPEED(RPM)
8500
8000
7500
7000
6500
6000
5500
5000
600
650
700
750
800
850
900
950
1000
1050


RUNNER SPEED AND HEAD CURVE
RUNNE SPEED(RPM)
HEAD(M)
1050
1000
950
900
850
800
750
700
650
600
340
360
380
400
420
440
460
480
500
520
540

RUNNER SPEED
RUNNER SPEED(RPM)
1050
1000
950
900
850
800
750
700
650
600
12
14
16
18
20
22
24
26
28
30
SPECIFIC SPEED

3.1.2 حساب العلو:-

من المعلوم أن توربينة بلتون تعمل علي علو اكبر من 350m كما أن مدينة صمد تقع علي ارتفاع 925m فوق سطح البحر الشئ الذي يجعل العلو المتاح ما بين (923~350m) باعتبار أن مدينة بورتسودان تقع على ارتفاع 2m فوق سطح البحر. سوف يتم في هذه الدراسة إنشاء محطتي توليد بعلو متساوي وهو 440(m) متضمنا الفواقد ، هذا الاختيار تم على أساس المبررات الآتية:-

- اختيار اقل من هذا العلو سوف يحدث هبوط في الطاقة المتولدة كما في المخططات في صفحتي (١٣و ١٤).
- اختيار اكبر من هذا العلو سوف لا يتيح إنشاء محطتين نسبة لقرب المحطة الثانية من مدينة بورتسودان .
- اختيار أكثر من محطة واحدة يساعد في توزيع القدرة المنتجة علي المناطق المجاورة للمحطات البعيدة من مدينة بورتسودان مما يقلل من تكاليف نقل القدرة إلي مسافات أبعد.

الفاقد في العلو:-

الفاقد في العلو يحدث نتيجة لاحتكاك المياه مع السطح الداخلي للأنبوب ،حسب الدراسة التي أجريت لإمداد مدينة بورتسودان بالمياه بواسطة الشركة الاستشارية تم تحديد نوع مادة الأنبوب الذي تنقل عبره المياه بمعامل احتكاك (0.0065) لمعدن (commercial carbon steel).

يحسب الفاقد في العلو نتيجة للاحتكاك من معادلة دارسي كما يلي:-

$$hf=FLQ^2/3*D^5$$

حيث:-

Hf= الفاقد الاحتكاكي.
L= الطول الكلي للأنبوب.
Q= معدل الانسياب.
D= القطر الداخلي للأنبوب.
F= معامل الاحتكاك للأنبوب.

$$H_{net}=H_{gross}-h_f$$

حيث:-

H net= السمت الصافي.
H gross= السمت الكلي.

F=0.0065
L=64.8 km

D=1.485m

$Q=1.157\ m^3/s$

$$h_f = .0065*64.8*10^3*1.157^2/3*1.485^5$$

$$= 26 \text{ m of water}$$

$$H_{net} = H_{gross} - h_f$$

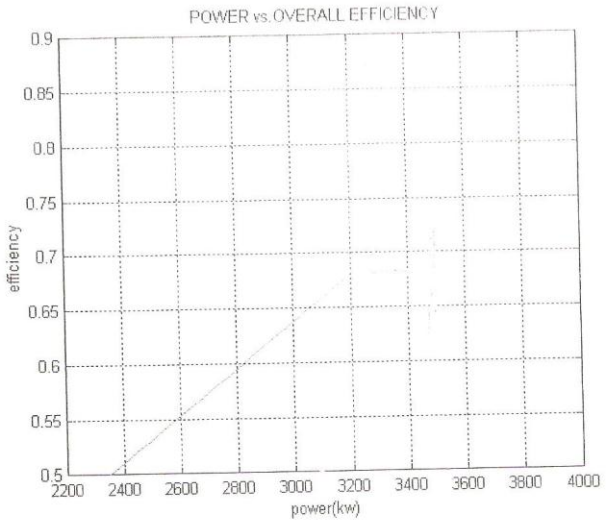
$$= 440 - 26 = 414 \text{ m}$$

الكفاءة:-

يمكن اعتبار أن التوربينة تعمل باقصي كفاءة كلية 85% ثم بعد ذلك يمكن اعتبار قيم مختلفة للكفاءة وحساب القدرة الخارجة عند تلك القيم .

3.1.3 وضع عمود التوربينة:-

غالبا ما يتم تثبيت توربينات الدفع أفقية العمود و تعتمد وضعية العمود في الأساس علي حجم التوربينة أي التوربينات ذات الأحجام الصغيرة يتم وضعها أفقية العمود ، التوربينات ذات الأحجام الكبيرة يتم وضعها رأسية العمود .



Station	ATBARA		EROOGEL		HAIYA		SUMMIT		TURBINE (1)		TURBINE (11)		PORT-SUDAN
Distance (Km)		163.36		106		113.04		64.8		64.8		12.8	
Cumvlated distance (Km)	0.00		163.36		269.36		382.4		447.2		512		524.8
Altitude (m)	+354		+464		+635		+925		+485		+45		+2
Head (m)		110		171		290		440		440			
Cumulated head (m)	0.00		+110		+281		+571		-440		-880		

الجدول (1.1) يوضح المسافات والارتفاعات على طول خط الانابيب

3.2 تصميم النفث:-

لايمكن إستخدام أكثر من منفث واحد في هذه أ لتوربينة نسبة لضآلة معدل الأنساب المتاح حيث أنه يقع في مدى إستخدام منفث واحد ($12m^3/s$).

سرعة النفث:-

تعطى سرعة النفث من العلاقة :-

$$V_1=C_v\sqrt{(2gH)}$$

حيث:-

C_v =معامل سرعة النفث ويتراوح بين (0.99~0.98)لتوربينة بلتون
V_1= سرعة النفث
g = عجلة الجاذبية الأرضية
H = العلو المتاح

بأخذ معامل سرعة للنفث قيمة متوسطة (0.985).

$$V_1=0.985\sqrt{(2*9.81*414)}=88.774m/s$$

ملاحظة:-
تتغير سرعة النفث تغيرا طفيفا بتغير معامل السرعة.

3.2.2. قطر النفث:-

من معادلة الاستمرارية

$$Q=AV=av_1$$

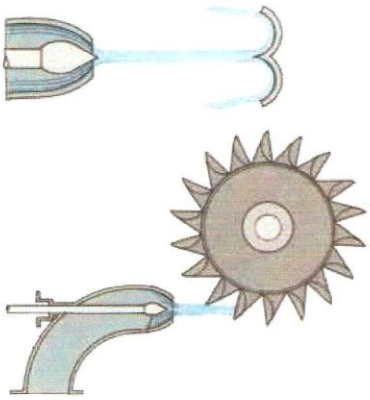
حيث:-
Q= معدل الانسياب
A= مساحة مقطع النفث
V= سرعة السريان في الأنبوب
a= مساحة مقطع النفث
V_1= سرعة النفث

$$1.157=a*88.774$$

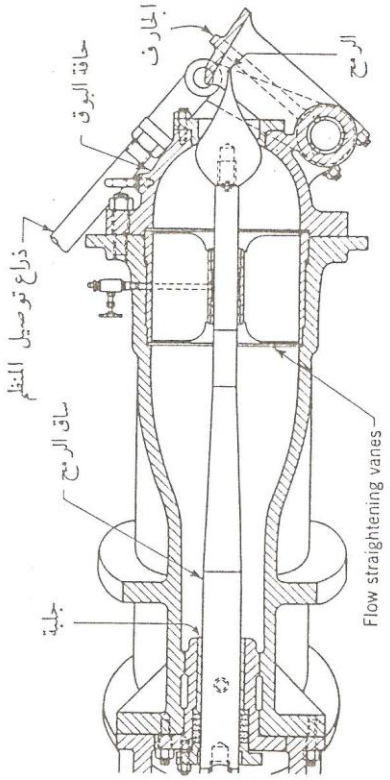
$a=0.013m^2$

$a= \pi/4 * d^2$

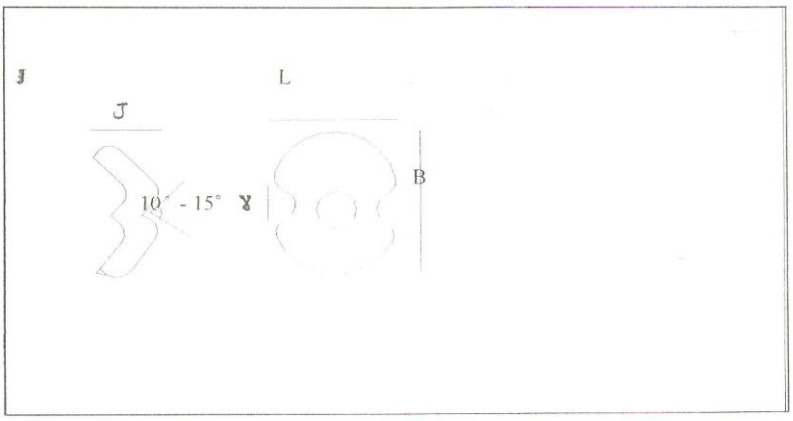
$d=0.12866m=128.66mm$



صورة توضح إصطدام المياه بالأقداح



صورة لمقطع المنفث



حساب أبعاد التوربين:-

هنالك معادلات تصميمية لعجلة بلتون تم وضعها على أساس تجارب عملية ومختبريه والمعادلات هي:-

- B/d=3~4
- L/d=2~3
- D/d=11~16
- J/d=0.8~1.20
- (Y) Notch width =1.1d+5mm
- Z=15+0.5(D/d)=15+0.5M

حيث:-

B= سمك القدح.
L= طول القدح.
J= عمق القدح.
M= نسبة النفث (D/d) jet ratio.
D= قطر العجلة.
d= قطر المنفث .
Z= عدد الأقداح

بأخذ قيم متوسطة للقيم التصميمية :-

L=2.5*d

L=2.5*0.12866=0.322mm=322m

B=3.5*d

=3.5*0.12866=0.45m=450mm

J=1*d

=.12866m=128.66mm

Notch width=1.1*d+5

=1.1*128.66+5=146.5mm=0.1465m

D/d=13.5

D=13.5*128.66=1737mm=1.737m

Z=15+0.5M

=15 + 0.5*13.5 =22 Buckets

زاوية الانحراف:-**Deflection angle**

وجد من التجارب المختبرية لتوربينة بلتون أن أفضل زاوية انحراف هي (165 درجة).

3.4. حساب السرعات للتوربين.-

يقصد بالسرعات -

- السرعة النسبية V_r
- السرعة التدويمية V_w
- سرعة الأقداح الخطية U
- سرعة العجلة الدورانية N

3.4.1 تحسب السرعة الخطية للأقداح عند الكفاءة الهيدروليكية القصوى من العلاقة:-

$$U=0.5v_1$$

$$U=0.5*88.774=44.387m/s$$

3.4.2 تحسب السرعة الدورانية بمعلومية U بالعلاقة:-

$$U -\pi^* D^* N/60$$

$$N=60*U/ \pi*D$$

$$=60*44.3878/ \pi*1.737=488 \text{ RPM}$$

3.4.3 السرعة النسبية:-Relative velocity

تحسب بالعلاقة:-

$$V_r = v_1 - U$$

$$V_{r1} = 88.774 - 44.387 = 44.387 m/s$$

لحساب V_{r2} باعتبار الاحتكاك في الأقداح

$$V_{r2} = KV_{r1}$$

عند أقصى كفاءة هيدروليكية :

$$\eta_{h\ Max} = 1 + K\cos\Phi/2$$

حيث:

Φ=زاوية انحراف الأقداح

من التجارب المختبرية وجد أن أقصى كفاءة هيدروليكية لتوربينة عجلة بلتون هي 89%

$$0.89 = 1 + K\cos 15/2$$

$$K = 0.81$$

حيث:

K= معامل الإحتكاك في الأقداح

$$V_{r2} = 0.81 * 44.387 = 35.95 m/s$$

$$V_{r2} * \cos\Phi = 35.95\cos 15 = 34.73 < U$$

بما أن:

$V_{r2}\cos\Phi < U$

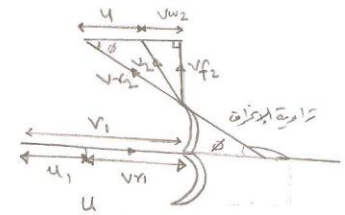
$V_{w2} = U - V_{r2}*\cos\Phi$

$= 44.387 - 34.73 = 9.657$ m/s

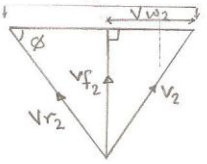
3.5 قوة النفث: - Jet force

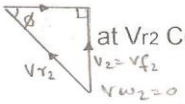
تعطى قوة النفث بالعلاقة التالية:-

at $V_{r2}\cos\Phi > U$



at $V_{r2}\cos\Phi < U$





at $V_{r2}\cos\Phi = U$

$F_x = \rho*Q*\Delta V_x$

$= \rho*Q\,(V_{w1} - V_{w2})$

حيث:

F_x= قوة النفث في إتجاه السريان

Q=معدل السريان الحجمي

ΔV_x=تغير السرعة في إتجاه السريان

V_{w1}=السرعة التدويمية عند مدخل الريش

V_{w2}= السرعة التدويمية عند مخرج الريش

$$F_X=10^3*1.157*(88.774 - 9.657) = 91.54 \text{ KN}$$

3.5.1 القدرة المدخلة للتوربينة: - Input power

$$K.E/s=0.5* \rho*Q*v1^2$$

حيث:

K.E/s=طاقة الحركة في الثاني

$$K.E/s=0.5*10^3*1.157*88.774^2= 4.559 \text{ MW}$$

3.5.2 القدرة الخارجة: Out put power

باعتبار كفاءة كلية قصوى 85%

$$\text{Out put power}=\eta_{\circ} * \text{input power (K.E/s)}$$

$$=0.85*4.559= 3.875 \text{ MW}$$

3.5.3السرعة النوعية (N_s): Specific speed

تحسب من القانون :

$$N_s= N\sqrt{P}/H^{(5/4)}$$

$$=488*\sqrt{3875}/ 414^{(5/4)} = 16.2$$

3.5.4 جدول يوضح القيم التصميمية التي تم الحصول عليها:-

الوصف	القيمة التصميمية له
العلو المستخدم H(m)	414.000
معدل الانسياب $Q(m^3/s)$	001.157
السرعة النسبية عند المدخل $V_{r1}(m/s)$	044.387
السرعة النسبية عند المخرج $V_{r2}(m/s)$	035.950
السرعة التدويمية عند المدخل $V_{w1}(m/s)$	088.774
السرعة التدويمية عند المخرج $V_{w2}(m/s)$	009.657
سرعة النفث $v_1(m/s)$	088.774
السرعة الخطية للعجلة U(m/s)	044.387
سرعة الدوران N(RPM)	488.000
السرعة النوعية Ns	016.260
معامل إحتكاك الأقداح K	000.810
قوة النفث Fx(KN)	091.540
القدرة المدخلة للتوربين Pi(MW)	004.559
القدرة الخارجة Pout(MW)	003.875
الكفاءة الكلية القصوى $\eta_{o\ MAX}$	000.850
الكفاءة الهيدروليكية القصوى η_{hMAX}	000.890
الكفاءة الميكانيكية القص $\eta_{m\ MAx}$	000.955
عدد الأقداح Z(Buckets)	022.000
عرض القدح B(mm)	450.000
طول القدح L(mm)	322.000
عمق القدح J(mm)	128.660
NOTCH width (mm)	146.500
قطر العجلة D(m)	001.737
قطر المنفث d(mm)	128.66
زاوية إنحراف القدح (Φ)	165.00

3.6 منحيات خواص الأداء للتوربين المقترحة:-

Performance characteristics curves

عادة ما يتم تصميم التوربينات بقيم محددة للعلو والسرعة و معدل السريان، القدرة الناتجة والكفاءة. هذه القيم المحددة هي القيم التصميمية للتوربينة المائية . لكن في أحيان كثيرة يتم اختبار التوربينات لقيم لهذه الخواص المذكورة أعلاه غير القيم التصميمية.تجري هذه الإختبارات لقيم متعددة للخواص علي نماذج من التوربينات الحقيقية داخل مختبرات خاصة . ترصد قيم نتائج التجارب وتوضع في شكل علاقات بيانية ،تنتج عن هذه العلاقات منحنيات تسمى منحنيات خواص الأداء.
عادة ما يتم رسم هذه المنحنيات علي ضوء الكميات الوحدوية(Nu,Qu,Pu) .

3.6.1 أنواع منحنيات الأداء:- Types of performance curves

- منحنيات الأداء الرئيسية و هذه تكون بثبوت العلو (H=constant).
- منحنيات خواص الأداء التشغيلية و هذه تكون بثبوت السرعة(N=constant).

منحنيات تساوي الكفاءة و هذه تكون بثبوت الكفاءة (η =constant)ويطلق عليها منحنيات موشل(Mouschel curves).

3.6.2 منحنيات خواص الأداء الرئيسية:

Main Performance characteristics curves

يتم رسم ثلاث منحنيات رئيسية هي:-

- (Qu vs.Nu) ويتم حساب كل من (Qu,Nu) من المعادلات الآتية:-

$$Nu=N/\sqrt{H}$$

$$Qu=Q/\sqrt{H}$$

حيث:

Nu= السرعة الوحدوية
Qu= معدل الإنسياب الوحدوي
N= سرعة الدوران للتوربين
Q= معدل الإنسياب
H= السمت

- (Nu vs.Pu) يتم حساب الـPu من العلاقة:

$$Pu=P/H^{(3/2)}$$

حيث:

Pu= القدرة الوحدوية
P= القدرة الخارجة

- (η_o vs.Nu)

من العلاقة الآتية يمكن رسم مخطط (Qu vs.Nu):

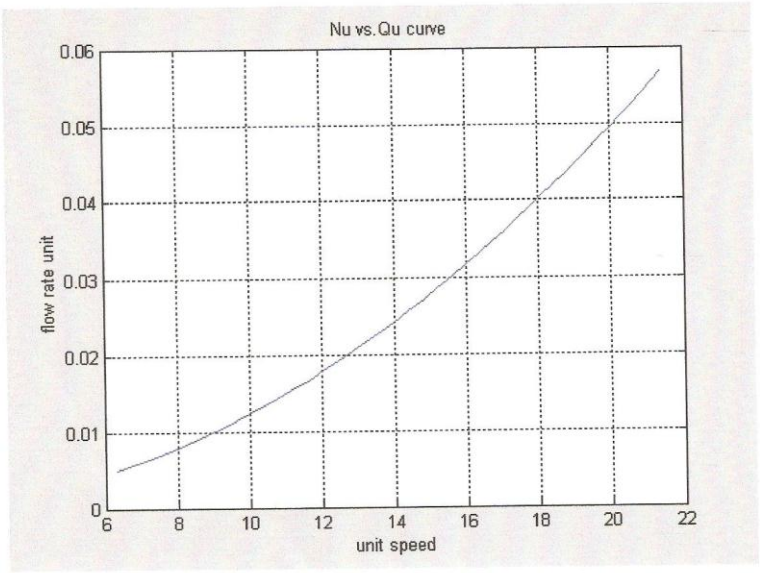
$$Ns=3.13*N\sqrt{(\eta_o*Q)}/H^{(3/4)}$$

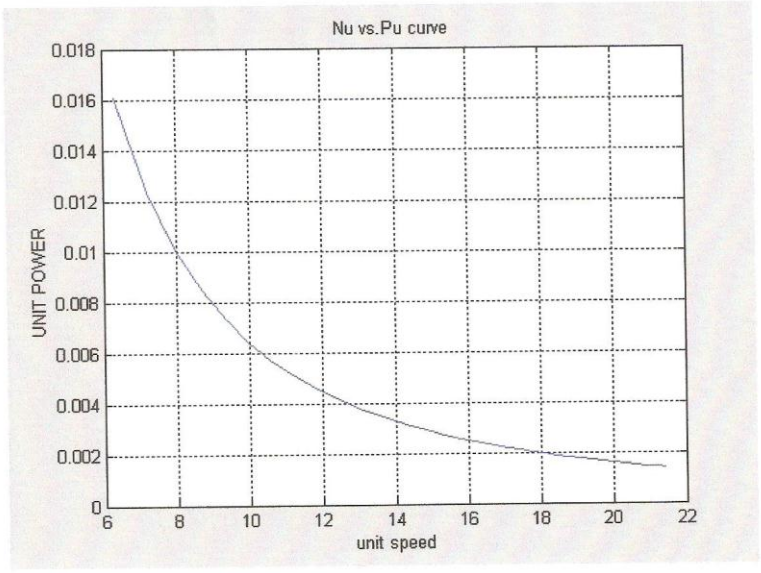
Ns	H(m)	Q(m^3/s)	η (%)	N(RPM)
16.26	414	0.2314	65	1229.40
16.26	414	0.4628	70	837.70
16.26	414	0.6942	75	660.80
16.26	414	0.9256	80	554.00
16.26	414	1.157	85	480.80

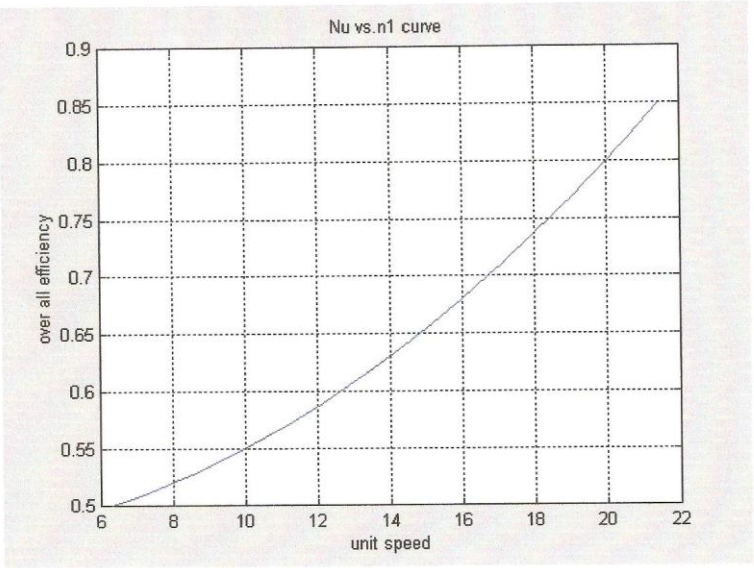
Ns	H(m)	N(RPM)	P(kw)
16.26	414	1229.40	610.00
16.26	414	837.70	1313.90
16.26	414	660.80	2111.55
16.26	414	554.00	3004.20
16.26	414	480.80	3988.50

الكميات الوحدوية: Unity Quantity

Nu	Pu	Qu
60.42	0.0724	0.01137
41.17	0.156	0.0227
32.50	0.250	0.0341
27.23	0.357	0.0455
23.63	0.473	0.0568


Nu vs. Qu curve
flow rate unit
unit speed
0.06
0.05
0.04
0.03
0.02
0.01
0
6
8
10
12
14
16
18
20
22


Nu vs. Pu curve
UNIT POWER
unit speed
0.018
0.016
0.014
0.012
0.01
0.008
0.006
0.004
0.002
0
6
8
10
12
14
16
18
20
22


Nu vs.n1 curve
over all efficiency
unit speed
0.9
0.85
0.8
0.75
0.7
0.65
0.6
0.55
0.5
6
8
10
12
14
16
18
20
22

4.0 الخاتمة و التوصيات:- Conclusion and recommendations

4.1 الخاتمة:

يتضح لنا في هذه الدراسة انه يمكن إنتاج قدرة كهربائية باستخدام عجلة بلتون التي قمنا بعمل التصميم لها باعتبار أنها تعمل بأقصى كفاءة كلية ثم قمنا بعد ذلك بدراسة بيانية لقيم أدنى من الكفاءة القصوى و مقارنتها بالقدرة الخارجة هذه القدرة الناتجة يمكن تكرارها بانشاء محطة أخرى قد أشير إليها أنفا في هذه الدراسة و تحتوي المحطة الثانية علي نفس القيم و التصاميم .استنادا علي النتائج التي أبرزها هذا البحث تبين انه يمكن استرداد أكثر من 80% من الطاقة التي استنفذت في الضخ عبر المضخات و هذا يعني انه ليس هنالك تكلفة كبيرة في استهلاك الطاقة مقارنة بالقدرة المتولدة المتحصل عليها في جانب التوليد .والجدير بالذكر ان هذا البحث تم علي أساس مرحلة الضخ الأولي 100,000m^3/day أي ما يعادل(250,000جالون في اليوم) وبحلول عام ٢٠٣٠م سوف يتم رفع كمية المياه في مرحلة ثانية إلي 200,000 m^3/day أي(500,000 جالون في اليوم) الشئ الذي يرفع من إمكانية إنتاج قدرة كهربائية أكبر من المرحلة الأولى كل هذه الفوائد بالاضافة للمذكورة انفا تشجع علي طرح هذا المشروع للاستثمار ،ومما يشجع علي تنفيذه في هذا الوقت قلة تكلفة الإنشاء . ثانيا قلة الأعمال الحفرية و البنيات الخرسانية التي لا تحتاج إليها توربينة بلتون.

4.2 التوصيات:

- عمل دراسة جدوى اقتصادية لمعرفة تكلفة إنشاء المشروع.
- عمل دراسات حول ملحقات التوربينة(إختيار المولدات ،الحاكمات و نظام التحكم).
- عمل مزيد من المسح الجيولوجي و الهيدروليكي للمنطقة التي يقع فيها إنشاء محطات التوليد.
- نوصي بانشاء خزان للمياه في منطقة صمد لتقليل خطر التكهف نسبيا.
- عمل دراسة تحليلية اخرى بعد زيادة معدل الإنسياب(500,000جالون في اليوم).

المراجع:-

(1)W.A.Doble the tangential water wheel Trans actions of the American institute of mining engineers, vol.XXIX 1899.

(2)W.F.Durrand the pelton water wheel Stanford university mechanical engineering 1939

(www.mohandes.com)

(3)Text book of fluid mechanics and hydraulic machine

(4)Fluid mechanics –Douglas

(5) ميكانيكا الموائع وتطبيقاتها الهندسية
روبرت ل.دوجرتي ،A.B.M.E
أستاذ الهندسة الميكانيكية و الهيدروليكية (سابقا) معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا.
جوزيف ب.فرانزيني Ph.D أستاذ الهندسة المدنية جامعة ستانفورد.
ترجمة د.قداح شاكر قداح –أستاذ الات الموائع –كلية الهندسة –جامعة عين شمس-جمهورية مصر العربية.