

### 3.1 توزيع السرعة في القنوات المفتوحة

#### 3.1.1 مقدمة :-

بصورة عامة يصنف جريان الماء في مجاري الأنهر والجداول كنوع من أنواع الجريان في القنوات المفتوحة . ان كمية التصريف خلال أي مقطع في قناة ما تعتمد اعتماداً مباشراً على مساحة ذلك المقطع ومعدل السرعة خلاله ، وفي هذا المقطع فإن سرعة الجريان تتغير من نقطة إلى أخرى إذ تكون أعلى قيمة لها قرب سطح الماء وتقل كلما اقتربت من القعر ، وتدل الدراسات النظرية على أن تغير سرعة الجريان على امتداد خط عمودي في المقطع يتبع تغيراً لوغاريتمياً ومن الممكن اثبات ان معدل السرعة يكون على عمق (  $0.6y$  ) من السطح حيث (  $y$  ) عمق الماء في ذلك الخط العمودي . من هنا يصبح من الضروري إيجاد سرعة الجريان في نقاط مختلفة للمقطع كي يتسنى معرفة معدل السرعة في ذلك المقطع . ان الغاية من هذه التجربة هي دراسة التغير في السرعة على طول الخط العمودي من القناة المفتوحة وباستعمال انبوب بيتوت لقياس السرعة على أعماق مختلفة من المقطع ثم رسم منحنى تغير السرعة مع عمق الماء ومن ثم إيجاد معدل السرعة في ذلك المقطع من المنحني الناتج :

#### 3.1.2 العلاقات النظرية التي تعتمد عليها التجربة

##### A - توزيع السرعة في القنوات المفتوحة :

كما سبق القول فإن السرعة لا تتوزع بصورة منتظمة بسبب مقاومة الاحتكاك في قعر وجوانب القناة ووجود السطح الحر . إن السرعة تكون صغيرة جداً وقريبة من الصفر بالقرب من حدود القناة ( القعر والجوانب) وتزداد كلما ابتعدنا عن هذه الحدود . كما تبلغ اعلى قيمة لها تحت سطح الماء على مسافة (  $0.05$  إلى  $0.25$  ) من عمق الماء في ذلك الخط العمودي .

في حالة الجريان المضطرب فإن تغير السرعة في الخط العمودي يتبع العلاقات اللوغاريتمية في أغلب الأحيان أما في الجريان الصفحائي فإن السرعة تتوزع حسب قانون القطع المكافئ . ان رقم رينولدز الحرج بالنسبة للقنوات المفتوحة والذي يُمَيِّز فيه الجريان من الصفحائي إلى المضطرب هو (500) .

$$R_e = \frac{V.R}{\nu}$$

حيث

m/sec	.....	V	معدل سرعة الجريان
m	.....	R	نصف القطر الهيدروليكي
m <sup>2</sup> /sec	.....	v	اللزوجة الكينماتية للماء

وإذا كان

m	.....	P	المحيط المبلول للقناة
m <sup>2</sup>	.....	A	مساحة مقطع الجريان

فإن

$$R = \frac{A}{P}$$

في القنوات المستطيلة

$$A=B.Y$$

$$A=B+2Y$$

حيث B ..... تمثل عرض القناة m

Y ..... عمق الماء في القناة m

وعلى العموم يمكن تصنيف الجريان في القنوات المفتوحة كما يلي :-

$500 > R_e$  الجريان صفحائي

$2000 > R_e > 500$  الجريان انتقالي

$2000 < R_e$  الجريان مضطرب

B- انبوب بيتوت :

لتعيين السرعة في أية نقطة ما في قناة مفتوحة يستعمل انبوب بيتوت والذي يعطي نتائج دقيقة وفي نفس الوقت يكون سهل الاستعمال بسيط التركيب.

ان هذا الجهاز لا يقيس السرعة بصورة مباشرة وانما الشحنة الناتجة عن السرعة  $(\frac{V^2}{2g})$

ومنها يمكن حساب السرعة .

يتكون الجهاز من انبوب صغير من النحاس مثني بزاوية قائمة في نهايته يوجد ثقب

صغير فوهته باتجاه الجريان ، ومن المهم جداً وضع الانبوب بصورة عمودية على

سطح الماء ومواز لخطوط الجريان تماماً للحصول على نتائج دقيقة :

ان الفكرة التي يعتمد عليها انبوب بيتوت لقياس السرعة تتلخص بان السائل أثناء

جريانه يصطدم بفوهة الانبوب فتتخفص سرعته كثيراً ويزداد الضغط حيث تنتقل زيادة الضغط هذه خلال انبوب بيتوت إلى مقياس بيزومتر لقياس الشحنة شكل (رقم-2).  
نفرض أن النقطتين (1) و ( 2 ) تقعان على خط جريان واحد يمر من منتصف انبوب بيتوت ، وتطبيق معادلة برنولي بين النقطتين (1) و (2)

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} = \frac{P_2}{\gamma} = \Delta h + h$$

وبما أن النقطتين (1) و ( 2 ) تقعان في نفس المستوى

$$\frac{P_1}{\gamma} = h$$

أو

$$\frac{V_1^2}{2g} = \Delta h$$

$$V_1 = C \sqrt{2g\Delta h} \quad \dots\dots(1)$$

حيث C ..... ثابت انبوب بيتوت ويساوي واحد غالباً ،

عملياً من الصعب قياس ( $\Delta h$ ) حيث ان قيمته صغيرة جداً ولذلك يستخدم بيزومتر مائل للقياس ثم تغير القراءات إلى القياس العمودي بعد ذلك .

### 3.1.3 الجهاز المستعمل في التجربة

يتكون جهاز التجربة من قناة مستطيلة المقطع زجاجية الجدران مزودة برافعة ميكانيكية في المؤخرة يمكن بواسطتها تغيير ميل القناة اثناء التجربة. ان الماء الذي ينساب في القناة يتجمع في خزان من البلاستيك حيث يتم ضخه من جديد إلى القناة بواسطة انبوب ثبت عليه صمام السيطرة للتحكم بكمية التصريف وكذلك مقياس الجريان لقياس التصريف الذي يدخل القناة شكل (رقم-1).

ويثبت انبوب بيتوت على القناة وكذلك مقياس بيزومتري لقياس الضغط الاستاتيكي. كما جهزت القناة بمقياس لقياس عمق الماء فيها اثناء التجربة.

#### 3.1.4 خطوات العمل

تقاس السرعة في حالتين، الحالة الأولى إذا كانت القناة أفقية والحالة الثانية إذا كانت القناة مائلة بانحدار معلوم، والحالتين تتبع نفس الخطوات أثناء العمل.

1- تجهز القناة بالماء عن طريق مضخة التجهيز ويتحكم بالتصريف بواسطة صمام السيطرة وتسجل قراءات التصريف من مقياس الجريان ويجب التأكد من كون الجريان منتظم (العمق متساوي في القناة) ويمكن التحكم بالجريان في القناة بواسطة بوابة المؤخرة التي توضع لهذا الغرض.

2- بعد انتظام الجريان في القناة تقاس شحنة السرعة على ارتفاعات مختلفة ابتداءً من القعر وعلى ارتفاع  $0.5\text{cm}$  منه ثم يستمر بالقياسات حيث تؤخذ ما بين (6-8) قراءات بحيث تكون القراءة الأخيرة وانبوب بيتوت تحت سطح الماء مباشرة.

في كل مرة بغير ارتفاع انبوب بيتوت ويسجل الفرق في مقياس الضغط ( $\Delta h$ ) الذي يمثل

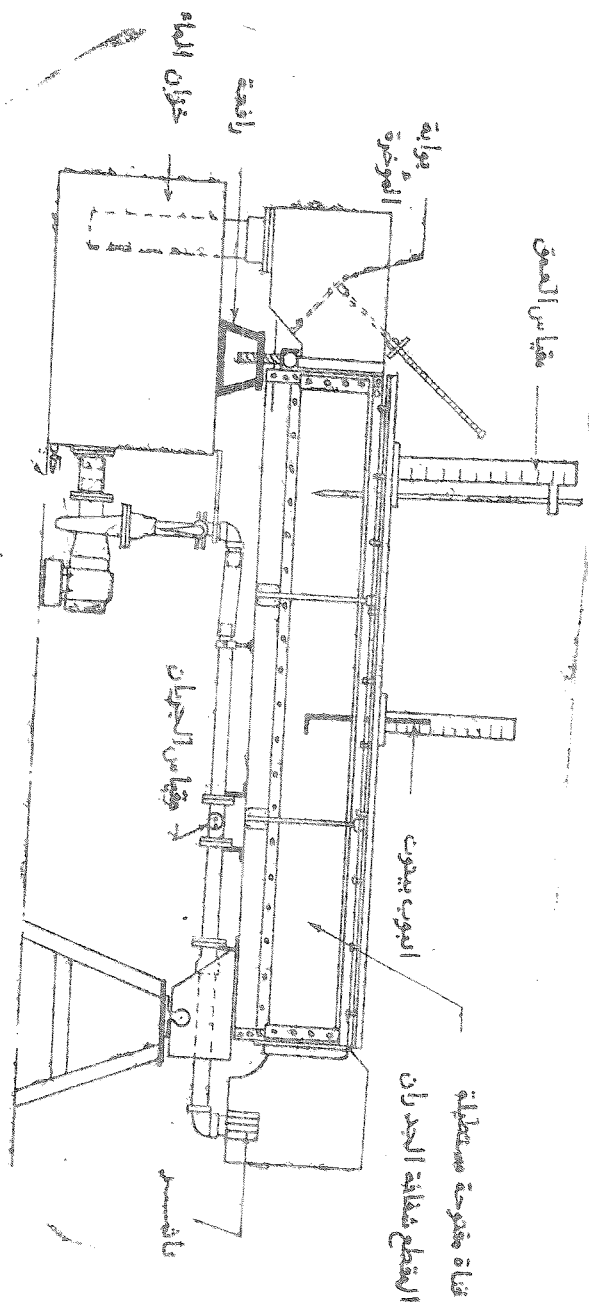
$$\left( \frac{V^2}{2g} \right) \text{ شحنة السرعة}$$

3- يغير التصريف في القناة وتعاد الخطوة رقم (2) ثانية.

4- تقاس درجة حرارة الماء أثناء التجربة.

5- تعاد الخطوات 2، 3، 4 بعد تغيير انحدار القناة.

6- تسجل أبعاد ومقاييس القناة المستعملة في التجربة.



مقياس العمق  
 بوابة المؤخرة  
 رأفة  
 خزان الماء  
 مقياس العمق  
 الدوب بيتوت  
 قناة مفتوحة مستوية  
 القطع عمالة الحدان  
 مقياس الحدان  
 مقياس

شكل رقم 7

2/2/2

### 3.1.5 الحسابات والنتائج

- 1- تحسب السرعة من المعادلة رقم (1).
- 2- يرسم منحنى تغير السرعة مع عمق الماء في القناة على ورق بياني اعتيادي ومنه يحسب معدل السرعة.

$$V_{va} = \frac{Au}{Y}$$

حيث

$V_{av}$  .... معدل السرعة في القناة m/sec

$Au$  .... المساحة المحاطة بالمنحنى  $m^2$

يقارن معدل السرعة هذا مع المعدل الموجود بواسطة مقياس الجريان .

$$V_{av} = \frac{Q}{A}$$

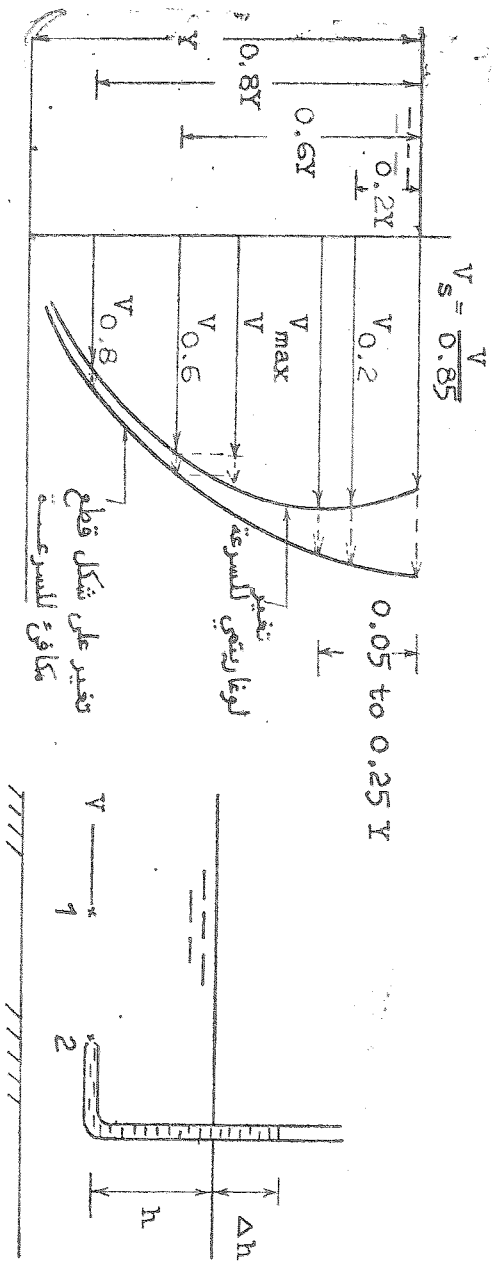
حيث

$Q$  ..... التصريف  $m^3/sec$

$A$  ..... مساحة مقطع الجريان  $m^2$

وبنفس الطريقة يحسب معدل السرعة في حالة كون القناة مائلة.

لايجاد معدل السرعة بصورة صحيحة ومضبوطة يجب ايجاد معدل السرعة في خطوط عمودية مختلفة في نفس المقطع من القناة وليس في خط واحد كما في هذه التجربة والتي تجري بهذا الشكل لضيق الوقت ولغرض الاطلاع على طريقة القياس والحساب فقط :



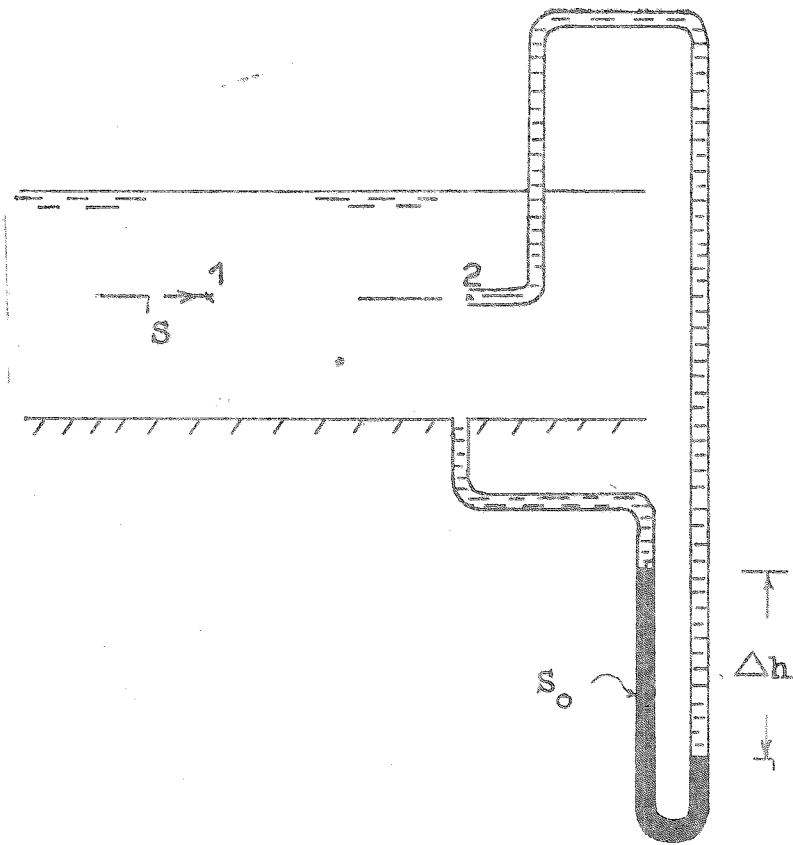
شكل ( رقم 2 )

البوب بيتوت المستعمل في قياس سرعة الجريان في قناة مفتوحة ولا يحظ كذلك كبقية تقيير ملاحظي السرعة مع ارتفاع الماء في المقطع العمودي للقناة

### 3.1.6 اسئلة للمناقشة

- 1- كيف يؤثر ميل القناة على توزيع السرعة ؟
- 2- ما العوامل التي تؤثر على سرعة الجريان في القنوات المفتوحة ؟
- 3- كيف يصنف الجريان خلال التجربة مضطرب ، انتقالي ام صفحائي ؟
- 4- عرف المصطلحات التالية :-  
الجريان المنتظم- الجريان الثابت- الشحنة الستاتيكية - شحنة السرعة- ضغط الركود والشحنة الكلية.
- 5- على فرض ان الوزن النوعي للسائل الذي في القناة هو (S) والوزن النوعي للسائل المستعمل في مقياس الضغط (المضغوط) هو (S<sub>0</sub>) شكل (رقم-3) كيف يمكن قياس السرعة في هذه الحالة وما العلاقة التي يمكن بواسطتها حساب السرعة ؟





شکل (رقم - 3)

جدول القراءات والنشائج  
القناة افقيّة

3.1.7

3.1.7.1

القراءة الاولى						
درجة حرارة الماء = الزوج الكينماتي للماء =			التصريف = Q عمق الماء في القناة = y			
رقم رينولدز	معدل السرعة $V_{av} = \frac{Q}{A}$	V m/sec	$\Delta h = \frac{V^2}{2g}$ m	عمق القياس m	رقم	معدل السرعة من المخطط
				0.005	1	
				0.1 y	2	
				0.2 y	3	
					...	
					...	
				0.95 y	n	
القراءة الثانية						
درجة حرارة الماء = الزوج الكينماتي للماء =			التصريف = Q عمق الماء في القناة = y			
رقم رينولدز	معدل السرعة $V_{av} = \frac{Q}{A}$	V m/sec	$\Delta h = \frac{V^2}{2g}$ m	عمق القياس m	رقم	معدل السرعة من المخطط
				0.005	1	
				0.1 y	2	
				0.2 y	3	
					...	
					...	
				0.95 y	n	

3.1.7 جدول القراءات والنتائج

3.1.7.2 القناة مائله

المجموعة الاولى					
التصنيف $Q$ =		درجة حرارة الماء =			
عمق الماء في القناة $Y$ =		اللزوجة الكينماتية للماء =			
رقم	عمق القياس m	$\Delta h = \frac{V^2}{2g}$ m	$V$ m/sec	معدل السرعة $V_{av} = \frac{Q}{A}$	
1	0.005				معدل السرعة من المنحني رقم ديتولد
2	0.1 y				
3	0.2 y				
...					
n	0.95 y				
المجموعة الثانية					
التصنيف $Q$ =		درجة حرارة الماء =			
عمق الماء في القناة $Y$ =		اللزوجة الكينماتية للماء =			
رقم	عمق القياس m	$\Delta h = \frac{V^2}{2g}$ m	$V$ m/sec	معدل السرعة $V_{av} = \frac{Q}{A}$	
1	0.005				معدل السرعة من المنحني رقم ديتولد
2	0.1 y				
3	0.2 y				
...					
n	0.95 y				

### 3.2 ايجاد معامل ماننك (n)

#### 3.2.1 مقدمة :-

يتعرض جريان الماء خلال قناة مفتوحة طبيعية كانت ام اصطناعية الى ضياع او فقدان في الطاقة بسبب الاحتكاك بينه وبين جدران وقعر القناة .  
وقد درس هذه الظاهرة عدد كبير من الباحثين وتوصلوا الى علاقات نظرية تربط ما بين متغيرات الجريان المختلفة وسرعة الجريان .  
غير ان جميع هذه العلاقات غير متكاملة وتعاني من عدة فجوات .  
في سنة 1880 توصل المهندس الايرلندي روبرت ماننك ( Robert Manning ) الى معادلة لاييجاد سرعة الجريان في القنوات . وقد اصبحت هذه المعادلة فيما بعد مشهورة جداً في هذا الحقل لسهولة استخدامها وبساطة استعمالها .  
ان الغرض من اجراء هذه التجربة هو ايجاد معامل ماننك (n) حيث يستفاد منه كثيراً في تصميم قنوات المياة .

#### 3.2.2 العلاقات النظرية التي تعتمد عليها التجربة

يعبر عن معادلة ماننك بما يلي :

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad \text{..... (1)}$$

حيث

V ..... متوسط سرعة الجريان m/sec

n ..... معامل الخشونة لماننك

R ..... نصف القطر الهيدروليكي m

S ..... انحدار القناة

وإذا كان

A ..... مساحة المقطع المبلل بالماء m<sup>2</sup>

P ..... المحيط المبلل بالماء m

فان

$$R = \frac{A}{P}$$

ومعادلة التصريف

$$Q = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{2/3} S^{1/2} \quad \text{..... (2)}$$

يتم تعيين سرعة الجريان في التجربة باستخدام انبوب بيتوت حيث يقاس الضاغط على لانبوب وتستخدم المعادلة التالية لحساب السرعة .

$$V = C \sqrt{2g\Delta h} \quad \dots (3)$$

حيث

$\Delta h$  ..... هو الفرق في الضاغط m

C ..... ثابت انبوب بيتوت

ويمكن تحديد ثابت الانبوب تحت ظروف ثابتة . ان معظم انابيب بيتوت المستعملة في التجارب الهيدروليكية تكون قيمة ثابت الانبوب فيها تساوي واحد .

وبذلك تكتب المعادلة (رقم - 3) بالصيغة التالية :

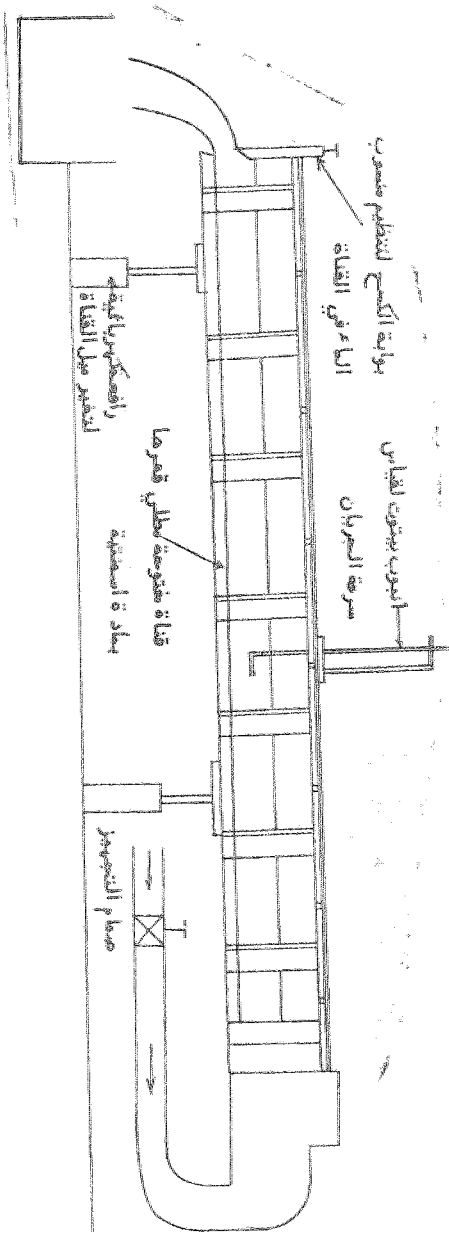
$$V = \sqrt{2g\Delta h} \quad \dots (4)$$

### 3.2.3 الجهاز المستعمل في التجربة

يتكون الجهاز من قناة مفتوحة شكل (رقم-1) ذات مقطع مستطيل مثبتة على رافعة كهربائية يمكن بواسطتها تغيير انحدار القناة حسب المطلوب وقد بطن قعر القناة بواسطة خليط من الرمل والسمنت ، وجوانب القناة مصنوعة من الزجاج لتسمح بمراقبة الجريان أثناء التجربة وفي نهاية القناة تثبت بوابة المؤخرة للحصول بواسطتها على جريان منتظم أثناء التجربة وتصل القناة بانبوب التجهيز بواسطة صمام السيطرة :

يوجد في اعلى القناة سكة مصنوعة من الالمنيوم مثبتة بصورة موازية لقعر القناة يستند عليها المقياس الذي يستعمل لقياس عمق الماء في القناة ويمكن تحريكه الى الاعلى والاسفل وفي اتجاه مؤخر ومقدم القناة حسب الحاجة :

ولقياس سرعة الجريان ثبت على سكة الالمنيوم حامل في نهايته انبوب بيتوت يتصل بمقياس الشحنة الذي يتكون من انبويتين مائلتين بزواوية معلومة تتصل احدهما بانبوب بيتوت والاخرى بقعر القناة .



شكل (رقم 1)

نموذج القناة مفتوحة بمادة استهنية ومزودة برافعة كهربائية لتغيير الاستطار

### 3.2 خطوات العمل

- يضبط وضع الجهاز بصورة افنية قبل البدء بالتجربة وبواسطة الرافعة الكهربائية ير وضع القناة للحصول على الحدار معين .
- يسمح لكمية من الماء بالدخول الى القناة وتحرك بوابة المؤخرة للحصول على جريان نظم في القناة (يكون عمق الماء في القناة متساوي في جميع المقاطع ) .
- يتم قياس عمق الماء في القناة بواسطة المقياس الخاص بذلك (يفضل قياس العمق عدة مقاطع ويؤخذ معدل هذه القياسات ) .
- س شحنة السرعة بواسطة مقياس الشحنة وانبوب بيتوت على ارتفاع (0.2y) و (0.8y) يغير التصريف وتعاد القياسات في الخطوة رقم (3) .
- يغير الحدار الجهاز وتعاد الخطوات (4,3) .
- تعاد الخطوة رقم (5) عدة مرات حسب حاجة التجربة .

### 3. الحسابات والنتائج

قياس عرض القناة  $B = \dots m$

عمق الماء في القناة اثناء الجريان  $y = \dots m$

أحدار القناة  $S = \dots m$

يحسب القطر الهيدروليكي  $(R)m$  في القنوات المستطيلة من المعادلة التالية :-

$$R = A/P \quad A = B \cdot y \quad P = B + 2y$$

$$R = \frac{By}{B + 2y}$$

- 3- بحسب معدل السرعة في القناة  $m/sec$  ( $V$ ) . كما يلي :
- متوسط السرعة في القناة = متوسط السرعة عند العمق ( $0.2y$ ) والعمق ( $0.8y$ )

$$V_{0.2} = \sqrt{2g\Delta h_{(0.2y)}}$$

$$V_{0.8} = \sqrt{2g\Delta h_{(0.8y)}}$$

$$V = \frac{V_{0.2} + V_{0.8}}{2}$$

### 3.2.6 اسئلة للمناقشة

- 1- ما العوامل التي تؤثر على قيمة معامل ماننك ؟
- 2- وفق اي شروط يمكن استعمال معادلة ماننك ؟
- 3- هل تتفق قيمة معامل ماننك (n) التي وجدت بالتجربة مع القيمة المتوقعة لها ؟
- 4- كيف يتم التأكد من كون الجريان في القناة ثابت ومنتظم ؟



	معامل مانينك $n$ المعجم
	معامل مانينك $n$ من التجريبه
	نصف القطر الهيدروليكي $R \quad m$
	المحيط المبلول بالماء $P \quad m$
	مساحة مقطع الجريان $A \quad m^2$
	تعدل السرعة $V \quad m/sec$
	سرعه الجريان على عمق $0.8y$
	متوسطه الجريان على عمق $0.2y$
	فرق الضغط $\Delta h$ على عمق $0.8y$
	فرق الضغط $\Delta h$ على عمق $0.2y$
	عمق الماء $y \quad m$
	اقدار القناة $S$
1 2 3 4 5	التسلسل

تاريخ: \_\_\_\_\_  
 والمادة: \_\_\_\_\_  
 والمهنة: \_\_\_\_\_  
 رقم: \_\_\_\_\_  
 3.2.7

### 3.3 القفزة الهيدروليكية في القنوات المفتوحة

#### 3.3.1 مقدمة :-

القفزة الهيدروليكية ( Hydraulic jump ) هي تحول الجريان بشكل مفاجيء ومضطرب من الحالة فوق الحرجة إلى الحالة تحت الحرجة ، أي يتغير الجريان من حالة الجريان العارم إلى حالة الجريان الهاديء ، ويتم التحول خلال منطقة انتقالية تفصل بين حالتي الجريان العارم والجريان الهاديء ، وفي هذه المنطقة يكون سطح الماء في حالة اضطراب وعدم استمرارية مع حدوث حركة دورانية ، ونتيجة لكل هذا يحدث ضياع في الطاقة. في سنة 1808 اكتشف العالم الايطالي بايدن ( Bidone ) ظاهرة القفزة الهيدروليكية هذه ، ويوجد عدد كبير من الباحثين لهم نتائج قيمة حول هذا الموضوع ومنهم : بريس (Bresse) ، باكمتيف (Bakhmeteff) ، كيند سفاتر ( Kindsvater ) ناكرتم ( Nagaratnum ) وآخرين .

#### 3.3.2 العلاقات النظرية التي تعتمد عليها التجربة

يمكن تحليل القفزة الهيدروليكية باستخدام معادلة الطاقة أو معادلة القوى ، ويفضل استخدام معادلة القوى لتحليل القفزة الهيدروليكية لأن الضياع في الطاقة غير معلوم ولذلك يصعب استخدام معادلة برنولي ( Bernoulli's equation ) لهذا الغرض . ويمثل الشكل (رقم 1 -- 1) مقطع طولي للقفزة الهيدروليكية .

الفروضيات :

يفترض ان :

- 1- طول القفزة صغير جداً بحيث يمكن اهمال الضياع في الطاقة بسبب الاحتكاك
  - 2- الجريان منظم قبل وبعد القفزة الهيدروليكية وان توزيع الضغط ( هيدروستاتيكي )
  - 3- ميل القناة صغير جداً بحيث يمكن اهمال مركبة القوى في اتجاه الجريان .
- بتطبيق معادلة القوى بين المقطع (1) والمقطع (2) في شكل (رقم 1- ) .

$$\frac{\gamma y_1^2}{2} - \frac{\gamma y_2^2}{2} = \rho q (V_2 - V_1) \quad \dots\dots(1)$$

حيث

$\rho$ .....	كثافة كتلة الماء	$N/m^3$
$y_1$ .....	عمق الماء قبل القفزة	m

m عمق الماء بعد القفزة .....  $y_2$   
 $m^2/sec$  التصريف لوحدة العرض .....  $q$

$$q = \frac{Q}{B}$$

حيث

$m^3/sec$  ..... التصريف  $Q$

$m$  ..... عرض القناة  $B$

ومن معادلة الاستمرارية

$$V_1 y_1 = V_2 y_2 = q \quad \dots\dots\dots (2)$$

حيث

$m/sec$  (1) سرعة الجريان عند المقطع .....  $V_1$

$m/sec$  (2) سرعة الجريان عند المقطع .....  $V_2$

وبتعويض المعادلة رقم (2) في المعادلة رقم (1)

$$\frac{\gamma y_1^2}{2} - \frac{\gamma y_2^2}{2} = \frac{\gamma}{g} V_1 y_1 \left( \frac{V_1 y_1}{y_2} - V_1 \right)$$

$$y_1^2/2 - y_2^2/2 = -\frac{V_1^2 y_1}{g} \left( \frac{y_1}{y_2} - 1 \right)$$

$$\frac{y_1^2 - y_2^2}{2} = \frac{V_1^2 y_1}{g} \left( \frac{y_1 - y_2}{y_2} \right)$$

$$\frac{y_1 + y_2}{2} = \frac{V_1^2}{2g} \cdot \frac{y_1}{y_2}$$

$$\frac{Y_2}{Y_1^2} \left( \frac{Y_1 + Y_2}{2} \right) = \frac{V_1^2}{g Y_1}$$

وبما أن

$$F_1 = \frac{V_1}{\sqrt{g Y_1}}$$

حيث:

$F_1$  ..... رقم فرود (Froude Number) قبل القفزة الهيدروليكية

$$F_1^2 = \frac{Y_2}{Y_1^2} \left( \frac{Y_1 + Y_2}{2} \right)$$

$$2F_1^2 = \frac{Y_2}{Y_1} \left( 1 + \frac{Y_2}{Y_1} \right)$$

$$\left( \frac{Y_2}{Y_1} \right)^2 + \left( \frac{Y_2}{Y_1} \right) - 2F_1^2 = 0$$

وبإيجاد قيمة  $\left( \frac{Y_2}{Y_1} \right)$  بالدستور

$$\frac{Y_2}{Y_1} = \frac{-1 \pm \sqrt{1 + 8F_1^2}}{2}$$

..... (3)

$$\frac{Y_2}{Y_1} = \frac{1}{2} (\sqrt{1 + 8F_1^2} - 1)$$

وبما أنه يمكن قياس عمق الماء قبل وبعد القفزة الهيدروليكية عملياً، لذلك يمكن حساب الطاقة المفقودة بسبب القفزة الهيدروليكية وذلك بتطبيق معادلة برنولي بين المقطع (1) والمقطع (2).

$$h_L = \left( Y_1 + \frac{V_1^2}{2g} \right) - \left( Y_2 + \frac{V_2^2}{2g} \right)$$

حيث:

$h_L$  ..... الضياع في الطاقة بين المقطع (1) والمقطع (2) بسبب القفزة

ويمكن كتابة المعادلة السابقة بدلالة الأعماق فقط كمايلي :-

$$h_L = \frac{(Y_2 - Y_1)^3}{4Y_1 Y_2} \dots\dots\dots (4)$$

وكذلك يمكن حساب طول القفزة الهيدروليكية من المعادلة التجريبية التالية :-

$$L_j = 6.9 (y_2 - y_1) \dots\dots\dots (5)$$

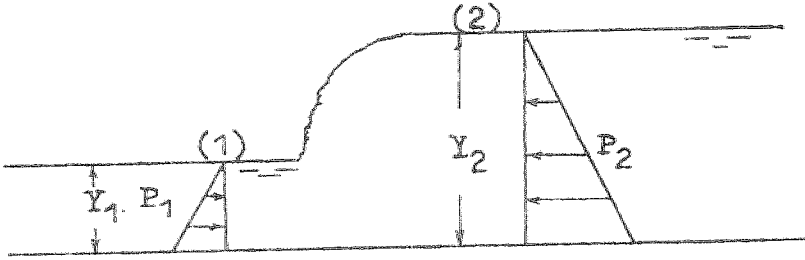
حيث  $L_j$  ..... طول القفزة الهيدروليكية  $m$

### 3.3.3 الجهاز المستعمل في التجربة

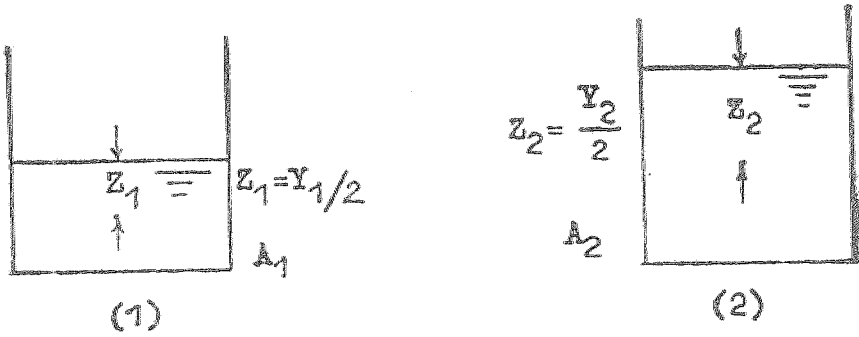
يتكون الجهاز من قناة زجاجية مزودة ببوابة متزلقة في مؤخرة القناة وبوابة للكسح في مقدم القناة مباشرة بعد المدخل . يتحرك على القناة أفقياً مقياسان لقياس عمق الماء قبل وبعد القفزة الهيدروليكية . بعد مرور الماء من القناة ينتقل الى حوض التسكين والذي يثبت في نهايته ثلمة مثلثة المقطع ، والثلمة معبوة مباشرة لقراءة التصريف ، ويعاد الماء الى حوض التجهيز ثانية بواسطة مضخة صغيرة يثبت عليها صمام للتحكم بالتصريف ، وكل هذه الاجزاء مثبتة على منضدة معدنية ، يوضع الجهاز بصورة افقية او مائلة بواسطة لوابل موزونة ومثبتة اسفل المنضدة المعدنية .

### 3.3.4 خطوات العمل

- 1 - يوضع الجهاز بصورة افقية ويشغل محرك المضخة وينظم التصريف الجاري في القناة
- 2 - ترفع وتخفض بوابة التنظيم في نهاية القناة للحصول على قفزة هيدروليكية .
- 3 - تعدل بوابة التنظيم للسيطرة على موضع القفزة ، بحيث يمكن ان تستقر القفزة بعد فترة قصيرة من الوقت .
- 4 - يجري قياس عمق الماء قبل وبعد القفزة بواسطة المقياس المتحرك على القناة
- 5 - يقاس التصريف .
- 6 - تعاد خطوات العمل ما بين (4-6) مرات على الاقل بتغيير التصريف في كل مرة
- 7 - يجب ملاحظة طول القفزة وقياسها في كل مرة .



مقطع طولى للقفزة الهيدروليكية



مقطع عرضي للقناة قبل القفزة

مقطع عرضي للقناة بعد القفزة

الهيدروليكية

الهيدروليكية

شكل ( رقم - 1 )

### 3.3.5 الحسابات والنتائج

تحسب القيم التالية

1 - B ..... عرض القناة m

2 - y ..... عمق الماء في القناة m

3 - رقم فرود قبل وبعد القفزة  $F_1$  ,  $F_2$  حيث

$$F_1 = \frac{V_1}{\sqrt{gy_1}} \quad \text{قبل القفزة}$$

$$F_2 = \frac{V_2}{\sqrt{gy_2}} \quad \text{بعد القفزة}$$

4 - طول القفزة الهيدروليكية من المعادلة رقم (5) وتقارن مع القيم التي تم قياسها اثناء التجربة .

5 - نسبة عمق الماء بعد وقبل القفزة  $\left(\frac{y_2}{y_1}\right)$  من المعادلة رقم (3) وتقارن مع القيم التي تم الحصول عليها من التجربة .

6 - مقدار الضياع في الطاقة  $(h_L)$  من المعادلة رقم (4) .

### 3.3.6 اسئلة للمناقشة

- 1- ما متوسط رقم فرود الذي تم الحصول عليه قبل وبعد القفزة من التجربة ؟
- 2- ما التطبيقات العملية للقفزة الهيدروليكية ؟
- 3- إذا التقت قناة ذات انحدار حاد بأخرى ذات انحدار ضعيف هل من الممكن حدوث القفزة في محل التقاء هاتين القناتين . وضح مع الرسم ؟
- 4- ارسم العلاقة بين  $\left(\frac{y_2}{y_1}\right)$  مع  $(F_1)$  على ورق بياني اعتيادي .

3-3-7

# حيدوك المتناظرات والمتساوية

القيم المتساوية	القيم المتناظرة						n				
	$y_2 / y_1$	LJ m	$h_L$ m	$F_{r2}$	$F_{r1}$	$y_2 / y_1$		LJ m	Q m <sup>3</sup> /sec	$y_2$ m	$y_1$ m
											1
											2
											3
											•
											•
											•
											n



### 3.4 معايرة قناة بارشل

#### 3.4.1 مقدمة :-

تستعمل مقاييس مختلفة لقياس التصريف في القنوات المفتوحة ، منها السد العاطس الذي يقيس التصريف في القناة على اساس وجود علاقة رياضية بين ارتفاع الماء اعلى السد العاطس والتصريف من خلاله ، وهنا يفرض ان الماء في القناة في حالة جريان حرج وخشونة جدران القناة قليلة بحيث لا تؤثر على جريان الماء فيها .

ان استعمال السد العاطس في القياس في القنوات المفتوحة يخلق بعض المشاكل منها ترسب المواد العالقة التي قد يحملها التيار بسبب وجود السد العاطس بالاطافة الى وجود ضياع كبير في الشحنة من خلال مرور الماء اعلى السد ، لهذا تستعمل طرق اخرى للقياس تعتمد ايضاً على وجود جريان حرج للماء في القناة ، ويتم ذلك بعمل تخصص في مقطع القناة حيث يطلق على القناة في هذه الحالة قناة فتشوري (Venturi Flume) .

ان اشهر انواع هذه القنوات هي قناة بارشل (Parshall Flume) ، التي تعتمد في قياس التصريف في القنوات المفتوحة على فكرة مقياس فتشوري (Venturi meter) في قياس التصريف في الانابيب اي حدوث انخفاض او فرق في مستوى الماء في مقدم ومؤخر القناة. ان اسباب استعمال قناة بارشل في قياس التصريف في القنوات

المفتوحة هي :-

- 1 - سهولة وبساطة اعدادها وتثبيتها للقياس .
- 2 - لا تحتاج الى صيانة معقدة ويمكن القياس بواسطتها بسهولة .
- 3 - تسمح بمرور ذرات الرمل والمواد العالقة التي يحملها الماء .
- 4 - دقة القياس .

بلاحظ اثناء تثبيت قناة بارشل ان تكون في مستوى مناسب مع القناة الاصلية المطلوب قياس تصريفها بحيث لا يحدث اي تآكل في نهاية القناة كما يجب ان لا تكون اوطأ من مستوى القناة لكي لا يعود الماء اليها بعد القياس .

3.4.2 العلاقات النظرية التي تعتمد عليها التجربة  
 لايجاد علاقة رياضية يمكن بواسطتها حساب التصريف بواسطة قناة بارشل يلاحظ  
 الشكل (رقم-1) وتطبيق معادلة برنولي (Bernoulli's Eq.) بين المقطعين (1-1) و (2-2)،

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2$$

$$H_1 + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = H_2 + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2$$

حيث :

- $V_1$  و  $V_2$  .... سرعة الجريان في مقدم القناة والمقطع الضيق منها على التوالي m/sec
- $\frac{P_1}{\gamma}$  ،  $\frac{P_2}{\gamma}$  .... شحنة الضغط في مقدم القناة والمقطع الضيق منها على التوالي m .
- $H_1$  ،  $H_2$  .... ارتفاع الماء في مقدم القناة والمقطع الضيق منها عن مسوب معين على التوالي m:
- $Z_1$  ،  $Z_2$  .... ارتفاع قعر مقدم القناة والمقطع الضيق منها على التوالي m.

$$\frac{V_1^2}{2g} - \frac{V_2^2}{2g} = (H_2 - H_1) + (Z_2 - Z_1) \quad \dots\dots\dots (1)$$

وبما ان  $Z_2 - Z_1 = H_1 - H_2$

$$\frac{V_1^2}{2g} - \frac{V_2^2}{2g} = H_2 - H_1 + H_1 - H_2 \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\frac{V_1^2}{2g} - \frac{V_2^2}{2g} = H_1 - H_2$$

$$Q_1 = Q_2$$

من معادلة الاستمرارية

$$V_1 B_1 H_1 = V_2 B_2 H_2$$

$$V_1 = V_2 \frac{B_2 H_2}{B_1 H_1}$$

حيث  $B_2, B_1$  عرض مقدم القناة  
والمقطع الضيق منها على التوالي  $m$

بالتعويض في المعادلة (2)

$$\frac{V_2^2}{2g} \left( 1 - \frac{B_2^2 H_1^2}{B_1^2 H_1^2} \right) = H - H_2$$

$$V_2 = \sqrt{2g(H - H_2)} \frac{B_1 H_1}{\sqrt{B_1^2 H_1^2 - B_2^2 H_2^2}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

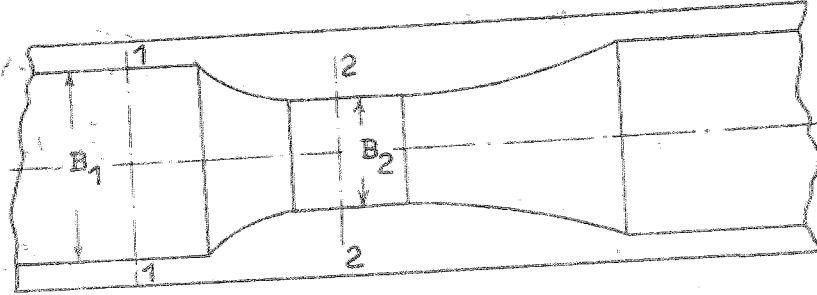
$$Q = V_2 B_2 H_2 \quad \text{وبما ان}$$

$$Q = \sqrt{2g(H - H_2)} \frac{B_1 H_1 B_2 H_2}{\sqrt{B_1^2 H_1^2 - B_2^2 H_2^2}} \quad \dots\dots\dots (4)$$

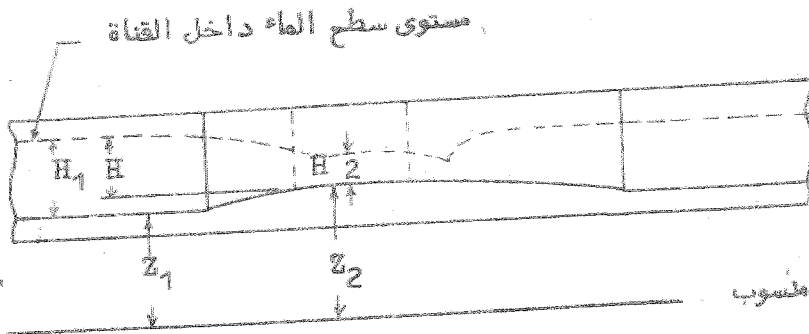
من الملاحظ أن المعادلة (4) قد تم الحصول عايتها على فرض انه لا يوجد ضياع في الشحنة بين المقطع (1-1) والمقطع (2-2) وان السرعة ثابتة وعمودية على المقطعين وهذا لايمكن تحقيقه عملياً، ولذلك يجب تصحيح معاداة التصريف كمايلي :-

$$Q = C \sqrt{2g(H - H_2)} \frac{B_1 H_1 B_2 H_2}{\sqrt{B_1^2 H_1^2 - B_2^2 H_2^2}} \quad \dots\dots\dots (5)$$

حيث  $C$  ..... معامل التصريف لقناة بارشل .



مخطط أفقي لقناة بارشل



مقطع طولى للقناة

شكل (رقم - 1)

مخطط لقناة بارشل موضح عليه كيفية تغير سطح الماء داخل

القناة وأبعاد القناة والمقطعين (1 - 1) ،

(2 - 2)

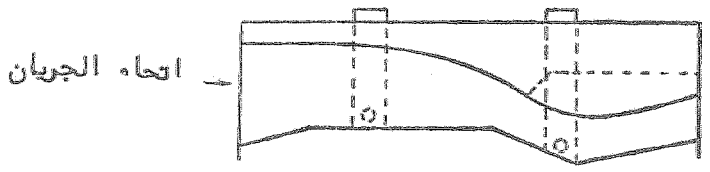
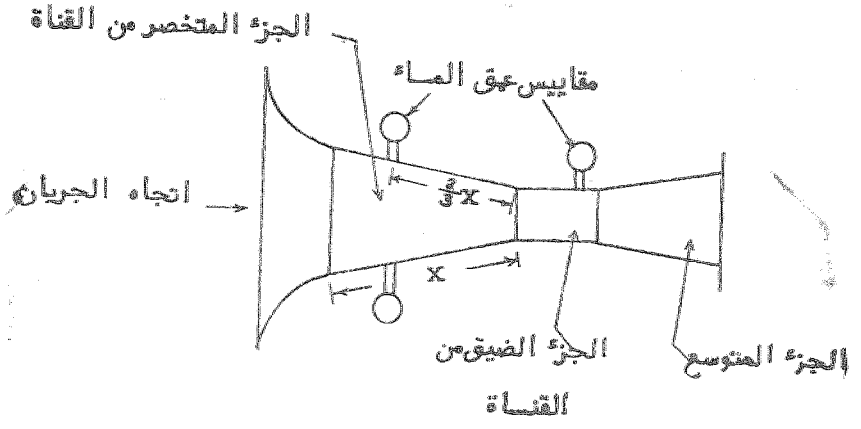
### 3.4.3 الجهاز المستعمل في التجربة

ان قناة بارشل تشبه مقياس فتشوري حيث يكون الجزء الأول منها على شكل قناة مفتوحة تتخصر بصورة تدريجية الى جزء ضيق ثم تتوسع بعد ذلك شكل (رقم - 2) وبالنظر لحساسية قناة بارشل في القياس يتوجب تثبيتها بصورة جيدة وملاحظة كون الجدران متوازية والقناة أفقية موزونة كما تثبت مقاييس لقياس عمق الماء في القناة، اثنان منها في المقدمة والثالث في المقطع الضيق منها، وهذه المقاييس تكون عبارة عن حفرة عمودية بجانب القناة تتصل بها أفقياً بواسطة انبوبة صغيرة القطر ويثبت في أعلى الحفرة مقياس مدرج لقياس عمق الماء في الحفرة ويتحرك فيها عمودياً .

ولغرض معايرة قناة بارشل يمكن تثبيت سد غاطس بإبعاد معلومة على مسافة مناسبة مزودة بمقياس لقياس عمق الماء (كما في القناة) ويستفاد من هذا السد في قياس التصريف الذي يمر من قناة بارشل. (يمكن استعمال اية طريقة أخرى لقياس التصريف لاستعماله فيما بعد في معايرة القناة )

### 3.4.4 خطوات اجراء التجربة

- 1- تسجيل قراءة مقاييس الأعماق لقعر قناة بارشل ، وكذلك يقاس عرض وارتفاع السد الغاطس (يقاس ارتفاع السد الغاطس بواسطة مقياس العمق حيث تمسجل قراءة قعر القناة ثم يسمح للماء بالمرور إلى مستوى أعلى السد الغاطس فتسجل هذه القراءة ويكون الفرق بين القرائين هو ارتفاع السد).
- 2- يسمح لتصريف معين بالمرور خلال القناة وبعد انتظام جريان الماء تسجل قراءات مقاييس العمق في القناة والسد الغاطس.
- 3- يغير التصريف ما بين ( 8-10 ) مرات وتعاد الخطوة ( 2 ) في كل مرة .



شكل ( رقم - 2 )

مقطع افقي وطولي لقناة بارشل مثبت عليها

مقاييس عمق الماء

## الحسابات والناتج :

تحسب قيمة التصريف  $m^3/sec$  (Q) من المعادلة

$$Q = \frac{2}{3} C_d b h^{3/2} \sqrt{2g} \dots\dots\dots$$

.....  
التصريف  $m^3/sec$

..... عرض السد الغاطس m

..... ارتفاع الماء أعلى السد الغاطس m

..... معامل التصريف للسد الغاطس يحسب من المعادلة :

$$C_d = 0.611 + 0.075 \frac{h}{b} \dots\dots\dots$$

وخذ معدل ارتفاع الماء في مقدمة القناة ( $H_1$ ) وكذلك في الجزء الضيق منها ( $H_2$ )  
مقياس العمق المثبتة لهذا الغرض وكذلك تحسب قيمة (H) .

(C) تحسب من المعادلة ( 5 ) بعد ايجاد قيمة ( Q ) من المعادلة ( 6 ) . ترسم العلاقة  
التصريف ( Q ) وعمق الماء في الجزء الضيق من القناة ( $H_2$ ) على ورق بياني اعتيادي.  
سم العلاقة بين التصريف ( Q ) وعمق الماء في الجزء الضيق من القناة ( $H_2$ ) على  
في لوغاريتمي . إذا كانت العلاقة بين ( Q ) و ( $H_2$ ) بالصيغة التالية :

$$Q = K B_2 H_2^n$$

قيمة (n) و (K) وكيف يمكن ايجادها من المنحني .

### 3.4 اسئلة للمناقشة

- لماذا يفضل استعمال قناة بارشل لقياس التصريف في القنوات المفتوحة ، وما مضار ذلك ؟
- ماالعوامل التي تؤثر على دقة قناة بارشل لقياس التصريف؟
- هل تنغير المعادلة رقم ( 5 ) إذا اختلفت ظروف الجريان وتغيرت أبعاد قناة بارشل المستعملة ؟





### 3.5 دولاب فرانسيس ( عنفة فرانسيس )

#### 3.5.1 مقدمه:-

يعتمد تصميم العنفة (Turbine) على عناصر ومتغيرات تعمل في حالتها المثلى، ويجب ان تكون العنفة مكيفة للأستعمال في أي موقع كان في جميع الحالات المختلفة ولأقصى فترة ممكنة ومن دون التقييد بوضعية الماكنة ومواصفاتها التصميمية ( أي انه من الممكن ان تعمل العنفة في حالات غير الحالات المصممة بها).

ان الطرق النظرية المستعملة في فحص وتحليل عمل العنفة لاتعطي صورة واضحة عن كيفية تغير العناصر التي تؤثر عليها لكون هذه الطرق تعتمد بالأساس على الظروف القياسية المصممة بها العنفة، ولهذا فالطريقة المعتمدة غالباً في دراسة العنفة وتحليلها تتم في المختبر بأستعمال نموذج مصغر للعنفة بحيث يمكن تعيين الظروف الملائمة لعمل العنفة مهما اختلفت العناصر والمتغيرات التي تؤثر عليها.

اما الأختبارات التي يمكن اجراءها في المختبر فتتعلق بخواص التجويف ووضعيته والقوة الناتجة من العنفة، وكذلك بعض الظواهر الهيدروليكية الأخرى. ان الفرض من هذه التجربة هو دراسة خواص ووضعية عنفة فرانسيس ( Frances Turbine ) ( تغير سرعة الأنطلاق، الشحنة على العنفة، تصريف العنفة، القدرة الناتجة من العنفة وكذلك كفاءة العنفة تحت ظروف العمل المختلفة ).

#### 3.5.2 العلاقات النظرية التي تعتمد عليها التجربة

##### 1- تصريف العنفة

يمكن تعريف تصريف العنفة على انه حجم الماء الذي يجري في العنفة خلال وحدة الزمن ويرمز لها بالرمز Q وتُقاس بوحدة  $m^3/sec$  ويمكن قياس التصريف بواسطة مقياس الفتحة الحادة ( او اي مقياس اخر). ان فرق الضغط الناتج من جريان وجود مقياس الفتحة الحادة يمكن قياسه بواسطة مانومتر زئبقي (يرمز له بالرمز  $h$  ). ويمكن تعيين التصريف بعد التعرف على فرق الضغط بواسطة منحني التصحيح الخاص بالفتحة الحادة.

##### 2 - شحنة العنفة

تعرف شحنة العنفة بأنها الفرق بين الشحنة الكلية في مدخل ومخرج العنفة. ان مدخل العنفة هو شحنة الأنبوب المتصل بالعنفة والشحنة في نفس المقطع تعرف بالشحنة المجهزة ويرمز لها بالرمز  $H_s$  . اما مخرج العنفة فهو نهاية الأنبوب العاطس والشحنة عند هذا المقطع

تدعى بشحنة التصريف ويشار لها الرمز  $H_d$  . وتكون الشحنة الكلية  $H$  تساوي

$$H = H_s - H_d \quad \text{..... (1)}$$

ان الشحنة المجهزة يمكن الحصول عليها بتثبيت مقياس للضغط على الانبوب المجهز للعتفة بالماء ، وتحسب كما يلي :

$$H_s = H_{st} + \Delta H_{st} \quad \text{.....(2)}$$

حيث  $H_{st}$  ..... قراءة مقياس الضغط

$\Delta H_{st}$  ..... بعد مقياس الضغط عن محور العتفة

ويمكن الحصول على شحنة التصريف بنفس الطريقة، حيث يربط مقياس للضغط بالتجويف المتصل بالعتفة، وتحسب كما يلي :

$$H_d = H_{dt} - \Delta H_{dt} \quad \text{.....(3)}$$

حيث  $H_{dt}$  ..... قراءة مقياس الضغط  $m$  ( غالباً تكون هذه القراءة سالبة لأن الضغط داخل اناء العتفة يكون اقل من الضغط الجوي )

$\Delta H_{dt}$  ..... بعد مقياس الضغط عن محور العتفة  $m$  .

وتكون الشحنة الكلية على العتفة:

$$H = H_{st} - H_{dt} + \Delta H_{st} + \Delta H_{dt} \quad \text{..... (4)}$$

### 3 - انطلاق العتفة

ان سرعة انطلاق العتفة هي عدد دورات عمود ادارة العتفة خلال وحدة الزمن ويرمز لها بالرمز  $(n)$  وتقاس بعدد الدورات في الدقيقة. في هذه التجربة تقاس سرعة انطلاق العتفة بواسطة جهاز التاكوميتر (Tachometer) واذا افترضنا ان  $(n_t)$  هي قراءة التاكوميتر ( دورة في الدقيقة ) و  $\Delta n$  هي نسبة الخطأ في القراءة (والتي يمكن الحصول عليها من منحنى التصحيح الخاص بجهاز التاكوميتر). فتكون قيمة  $n$  كما يلي :

$$n = n_t + \Delta n \quad \text{..... (5)}$$

### 4- القدرة الناتجة من العتفة

يمكن تعريف القدرة الناتجة من العتفة بأنها معدل الشغل الميكانيكي المبدول من قبل عمود ادارة العتفة، ويرمز لها بالرمز  $(N_T)$  وتقاس بالقدرة الحصانية المترية (m.h.p.)

يمكن قياس القدرة الناتجة (  $N_T$  ) بواسطة المفرمل الخاص بالجهاز وكما يلي :

$$N_T = \frac{F \cdot L \cdot n}{60 \times 735.5} \quad \dots\dots\dots (6)$$

حيث  $F$  ..... القوة الناتجة من عمود ادارة العنفة  $N$   
 $L$  ..... طول ذراع المفرمل  $m$

ما قدرة الماء المندفح داخل العنفة  $N_w$  فتحسب من المعادلة التالية :

$$N_w = \frac{\gamma Q H}{735.5} \quad \dots\dots\dots (7)$$

حيث  $N_w$  ..... قدرة الماء ( قدرة حصانية مترية )  $m.h.p.$   
 $\gamma$  ..... كثافة الماء  $N/m^3$   
 $Q$  ..... التصريف  $m^3/sec$   
 $H$  ..... شحنة العنفة الكلية  $m$

ويمكن ايجاد كفاءة العنفة من المعادلة التالية :

$$\eta = \frac{N_T}{N_w} \quad \dots\dots\dots (8)$$

ان سرعة الانطلاق ، التصريف والقدرة الناتجة لعنفة قطرها  $m$  (1) تعمل تحت شحنة مقدارها  $m$  ( 1 ) ماء تعرف بانها وحدة سرعة الانطلاق، ووحدة التصريف ووحدة القياس على التوالي ويرمز لوحدة سرعة الانطلاق بالرمز  $n_1$  وتحسب من المعادلة التالية :

$$n_1 = \frac{n D}{\sqrt{H}} \quad \dots\dots\dots (9)$$

حيث  $n_1$  ..... وحدة سرعة الانطلاق (دورة في الدقيقة)  $R.P.M.$   
 $D$  ..... قطر العنفة  $m$

وكذلك يمكن ايجاد وحدة التصريف  $m^3/sec$  ( $Q_1$ ) من المعادلة

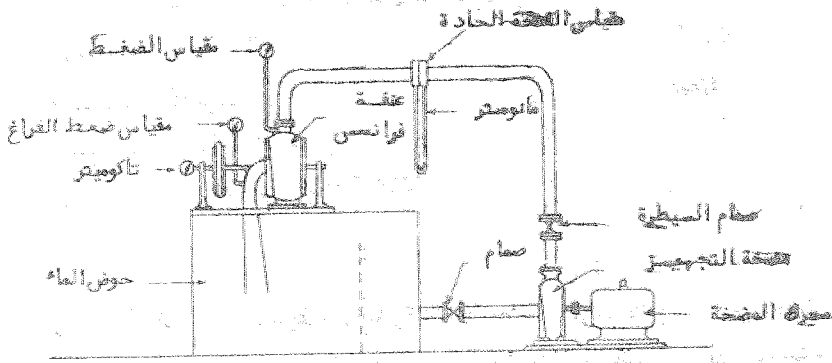
$$Q_1 = \frac{Q}{D \sqrt{H}} \quad \dots\dots\dots (10)$$

ووحدة القدرة  $N_1$  من المعادلة التالية :

$$N_1 = \frac{N_T}{D^2 H^{1.5}} \quad \dots\dots\dots (11)$$

### 3.5.3 الجهاز المستعمل في التجربة

الشكل (رقم-1) يوضح تركيب الجهاز من النوع المغلق، يتكون من العنفة التي يصلها الماء من حوض التجهيز ويصرف إلى التجويف، ويحمل على عمود ادارة العنفة مقرمل من نوع بروني، وتستند ذراع المقرمل على قطعة معدنية مدرجة تقيس القوة الناتجة في نهاية ذراع المقرمل. وكذلك ثبت مقياس تاكوميتر على عمود ادارة العنفة يستعمل لقياس انطلاق العنفة أثناء التجربة.



شكل (رقم-1)

نموذج لعنفة فوانيس مثبت ضمن دائرة مغلقة ومجهز بمقياس الضغط وسرعة الانطلاق والتصريف

يتصل بالتجويف مقياس للضغط لقياس الضغط داخل التجويف ويجب أن يكون المقياس بتدريج كافي لقياس ضغط الفراغ وقليل من الضغط الموجب أيضاً.

تجهز العنفة بالماء من حوض التجهيز بواسطة مضخة مناسبة تتصل بخزان التجهيز وتدفع الماء إلى العنفة عن طريق أنبوب يربط بينهما يثبت خلال الأنبوب مقياس الفتحة الحادة (أو أي مقياس آخر) لقياس كمية الماء المجهزة من المضخة إلى العنفة وكذلك يثبت صمام بين المضخة والأنبوب للتحكم بكمية الماء.

### 3.5.4 خطوات اجراء التجربة

- 1- تعدل الريش الموجهة للعنفة بفتحات صغيرة للبوابة ويبدأ في تشغيل مضخة التجهيز مع ملاحظة كون صمام السيطرة مفتوح كلياً ، ويعد مقياس الضغط ومقياس التاكوميتر للعمل وكذلك يوصل ماء التبريد إلى جعبة المفرمل .
- 2- تحرك الريش الموجهة تدريجياً حتى تفتح كلياً وفي نفس الوقت يطبق المفرمل بحيث تكون سرعة انطلاق العنفة في حدود قيمتها التصميمية .
- 3- يطبق المفرمل حتى يتم الوصول إلى سرعة انطلاق تساوي نصف السرعة التصميمية وتمدل الشحنة على العنفة بواسطة صمام السيطرة لتقترب من القيمة التصميمية لها .
- 4- يسجل فرق الضغط في المانوميتر الخاص بمقياس الفتحة الحادة ، وكذلك قراءة الضغط في مدخل ومخرج العنفة وقراءة التاكوميتر وأخيراً القوة الناتجة من ذراع المفرمل .
- 5- يزاح المفرمل تدريجياً لزيادة سرعة انطلاق العنفة وفي كل مرة يعدل صمام السيطرة لجعل الشحنة الكافية على العنفة مساوية للشحنة المصممة. تعاد هذه الخطوة ما بين 10 إلى 12 مرة مع ملاحظة ان اوطأ سرعة انطلاق للعنفة تعادل 50% من سرعة الانطلاق المصممة وان اعلى سرعة انطلاق تعادل 150% من السرعة المصممة . في كل مرة يزاح فيها المفرمل تعاد الخطوة رقم (4) .
- 6- تعدل فتحة البوابة بالترتيب التالي  $\frac{7}{8}$  ,  $\frac{3}{4}$  ,  $\frac{5}{8}$  ,  $\frac{1}{2}$  ,  $\frac{3}{8}$  وفي كل مرة تعاد الخطوات (5,4)
- 7- في كل مرة تغير فيها فتحة البوابة تسجل المسافة بين ريش البوابة.

### 3.5.3 الحسابات والنتائج

- 1- صفات العنفة التصميمية  
الشحنة الكلية على العنفة :  
سرعة انطلاق العنفة :  
القدرة الناتجة من العنفة :  
طول ذراع المفرمل :

بعد مقياس الضغط الأول عن محور العنفة  $\Delta H_{st}$   
 بعد مقياس الضغط الثاني عن محور العنفة  $\Delta H_{dt}$   
 تسجل القراءات والنتائج الأخرى في الجدول الخاص بذلك .

2- تحسب القيم التالية :

- ( 4 ) الشحنة الكلية من المعادلة
- ( 5 ) سرعة انطلاق العنفة من المعادلة
- ( 6 ) القدرة الناتجة من العنفة من المعادلة
- ( 7 ) قدرة الماء المتدفق داخل العنفة من المعادلة
- ( 8 ) كفاءة العنفة من المعادلة
- ( 9 ) وحدة سرعة الانطلاق من المعادلة
- ( 10 ) وحدة التصريف من المعادلة
- ( 11 ) وحدة القدرة من المعادلة

3- المنحنيات

ترسم العلاقة بين كفاءة العنفة (  $\eta$  ) ووحدة التصريف لكل فتحة من فتحات العنفة ( ترسم جميعها على ورقة بيانية واحدة ) .  
 ترسم العلاقة بين كفاءة العنفة (  $\eta$  ) ووحدة السرعة ، وكذلك بين وحدة التصريف ووحدة السرعة ولكل فتحة من فتحات البوابة ( تستعمل ورقة بيانية واحدة لكافة فتحات البوابة ) .

ترسم قيم وحدة التصريف على المحور الأفقي ووحدة السرعة على المحور العمودي ، ويرسم على نفس الورقة البيانية المنحنيات الثابتة لفتحات البوابة وكفاءة العنفة .  
 ترسم العلاقة بين وحدة القدرة ووحدة السرعة لجميع فتحات بوابة العنفة ( على ورقة بيانية واحدة ) .

### 3.5.6 استمالة للمناقشة

1- عرف سرعة الانطلاق النوعية ( Specific Speed ) وعين سرعة الانطلاق النوعية للعنفة من التجربة؟.

2- ارسم مقطعاً تمصلياً لعنفة فرانسس .

3.5.7 جدول القراءات و لتسجيل المسافة بين ديش العنق

mm									
التصريف			المستحسني					R.P.M	
$Q_1$ m <sup>3</sup> /sec	$Q$ m <sup>3</sup> /sec	فراق الضغط في ماؤمتر الفتحة المحاده	H	Hd	Hdt	Hs	Hst		
									1
									2
									3
									•
									•
									n
خطارة العنق	المتحدة				سرعة الانطلاق				خطارة
	$N_1$	$N_W$ m.h.p	$N_T$ m.h.p	F N.	$n_1$	n	$\Delta n$	$n_t$	
									1
									2
									3
									•
									•
									n

### 3.6 دولاب بلتون (عنفه بلتون)

#### 3.6.1 مقدمة : -

غالباً ما تدخل دوالب الماء (Turbine) في المسائل الميكانيكية لأغراض توليد الطاقة الكهربائية حيث يربط الدولاب بمولد للطاقة يقوم بتحويل الشغل الناتج من الدولاب الى طاقة كهربائية يستفاد منها على نطاق واسع. والنظر لأهمية وفائدة الدولاب المائي في هذا المجال فقد تعددت الدراسات حوله وتوصل المهندسون والباحثون الى انواع مختلفة من الدواب تستعمل في مختلف الظروف لتوليد الطاقة الكهربائية او حتى للحصول على شغل لإدارة مشروع ما .

أن دولاب بلتون (Pelton Turbine) هو احد انواع الدواب المستعملة لهذا الغرض. يتكون من عدة مراوح بشكل نصف كرة مجوفة مثبتة على دولاب حديدي شكل (رقم-1) ويسقط الماء على المراوح تأخذ بالتحرك بصورة دائرية محرّكة معها الدولاب الذي يكون متصلاً بمولد او محرّك يقوم بتحويل الشغل الناتج من دوران الدولاب للأغراض السابقة. ان الاختبارات التي تجرى على دولاب بلتون في المختبر هي :

- 1- تعيين كفاءة الدولاب للعمل وخواصه والتعرف على طريقة عمله .
  - 2- دراسة القوى التي تؤثر على اجزاء الدولاب .
  - 3- دراسة الاهتزازات التي تنتج اثناء عمل الدولاب .
  - 4- دراسة بعض الظواهر الميكروليكية التي تنتج اثناء عمل الدولاب .
- في هذه التجربة يتم دراسة ميزات دولاب بلتون من ناحية القدرة المنتجة والكفاءة وتأثير تغير التصريف عليهما .

#### 3.6.2 العلاقات النظرية التي تعتمد عليها التجربة

1- قدرة الماء المندفح داخل العنفة  $N_w$

$$N_w = \frac{\gamma QH}{735.5} \quad (1) \quad \text{حيث}$$

$N_w$  ..... قدرة الماء (قدرة حصابية مترية) m.h.p

$\gamma$  ..... كثافة الماء  $N/m^3$

$Q$  ..... التصريف  $m^3/sec$



H ... شحنة العنفة (او الفرق بين شحنة الماء قبل دخوله العنفة وبعد خروجه منها) m .  
 2- القدرة الناتجة من العنفة :

وهي القدرة الناتجة من عمود إدارة العنفة ويرمز لها بالرمز  $N_T$  وتقاس بالقدرة الحصانية المترية ، وهذه القدرة يمكن امتصاصها بواسطة مفرمل خاص ويمكن حسابها كالآتي :

$$N_T = \frac{2\pi \cdot F \cdot L \cdot n}{(60) \cdot (735.5)} \quad \dots\dots\dots (2)$$

حيث F ... القوة الناتجة من عمود إدارة العنفة تقاس بواسطة المقياس المعدني . N  
 L ..... طول ذراع المفرمل . m  
 n ..... عدد الدورات التي يدورها عمود العنفة خلال دقيقة واحدة (انطلاق العنفة)  
 3- كفاءة العنفة  $\eta$  تحسب من المعادلة :

$$\eta = \frac{N_T}{N_w} \quad \dots\dots\dots (3)$$

4- عزم إدارة العنفة T يحسب من المعادلة

$$T = F \cdot L \quad \dots\dots\dots (4)$$

حيث T .... عزم إدارة العنفة N.m

5- انطلاق العنفة

يعرف انطلاق العنفة بعدد الدورات التي يدورها عمود إدارة العنفة خلال وحدة زمنية ويرمز لها بالرمز ( n ) وتقاس بعدد الدورات خلال الدقيقة الواحدة . ويحسب انطلاق العنفة بواسطة جهاز التاكوميتر ( Tachometer ) وكما في المعادلة :

$$n = n_t + \Delta n \quad \dots\dots\dots (5)$$

حيث  $n_t$  ..... قراءة التاكوميتر (دورة في الدقيقة )

$\Delta n$  ..... الخطأ في جهاز التاكوميتر ( دورة في الدقيقة ) يحسب من منحني

التصحيح الخاص بالجهاز .

6- وحدة الانطلاق  $n_1$  للعنفة

$$n_1 = \frac{n}{\sqrt{H}} \quad \dots\dots\dots (6)$$

حيث  $n_1$  ..... وحدة الانطلاق للعنفة (دورة في الدقيقة )

7- وحدة التصريف  $Q_1$  للعنفة

$$Q_1 = \frac{Q}{\sqrt{H}} \quad \dots\dots (7)$$

حيث  $Q_1$  ..... وحدة التصريف للعنفة  $m^3/sec$

8- وحدة القدرة  $N_1$  للعنفة

$$N_1 = \frac{N_T}{H^{3/2}} \quad \dots\dots(8)$$

حيث  $N_1$  ..... وحدة القدرة للعنفة (قدرة حاصية مترية)

1- المتغيرات التي وردت في المعادلات السابقة يمكن قياسها خلال التجربة كما يلي :

1- التصريف

يعرف تصريف العنفة بأنه حجم الماء الذي يجري داخل العنفة خلال وحدة زمنية ويرمز له بالرمز  $Q$  ويقاس بوحدة  $(m^3/sec)$ . يمكن قياس التصريف بواسطة لوحة الفتحة الحادة المثبتة على الانبوب الذي يجهز العنفة بالماء ، حيث يقاس فرق الضغط قبل وبعد مقياس الفتحة الحادة بواسطة مقياس الضغط الذي يتصل بالانبوب ، وبعد قياس فرق الضغط يمكن إيجاد التصريف من المعادلات الخاصة بمقياس الفتحة الحادة او منحني التصحيح الخاص به .

2- شحنة العنفة

تعرف شحنة العنفة بأنها الفرق في الشحنة الكلية للماء عند الدخول والخروج من مقطع العنفة . ان مدخل العنفة هو عبارة عن المقطع الذي يحدث عنده ارتظام البثق بدولاب العنفة .

الشحنة الكلية عند مدخل العنفة يرمز لها بالرمز  $H_1$  (m)

$$H_1 = \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + Z_1$$

حيث

..... شحنة الضغط عند مدخل العنفة (m)  $\frac{P_1}{\gamma}$

.....  $\frac{V_1^2}{2g}$  شحنة السرعة عند مدخل العنفة (على فرض ان توزيع السرعة منتظم) (m)

.....  $Z_1$  ارتفاع مدخل العنفة عن منسوب معين (m). يمكن تعيين شحنة الضغط عند مدخل العنفة  $\frac{P_1}{\gamma}$  من المعادلة :

$$\frac{P_1}{\gamma} = G \pm \Delta G + hg$$

حيث

.....  $G$  شحنة الضغط في الانبوب المجهز للعنفة بالماء وتقاس بواسطة مقياس الضغط (m)

.....  $\Delta G$  الخطأ في مقياس الضغط ، تحسب من منحنى التصحيح الخاص بالمقياس (m)

.....  $hg$  ارتفاع شفه مقياس الضغط عن منتصف مدخل العنفة (m)

نجد شحنة السرعة عند مدخل العنفة من المعادلة التالية :

$$\frac{V_1^2}{2g} = \frac{1}{2g} \cdot \frac{16 Q^2}{\pi^2 d_1^4} \quad \text{.....(9)}$$

حيث

.....  $d_1$  قطر الانبوب عند مدخل العنفة (m) .

فتكون الشحنة الكلية عند مدخل العنفة

$$H_1 = (G \pm G) + \frac{1}{2g} \left( \frac{16 Q^2}{\pi^2 d_1^4} \right) + (Z_1 + hg)$$

اما الشحنة الكلية عند مخرج العنفة فيرمز لها بالرمز  $(H_2)$  (m)

$$H_2 = P_2/\gamma + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2$$

حيث

.....  $\frac{P_2}{\gamma}$  شحنة الضغط عند مخرج العنفة (تساوي صفراً) حين يكون .... المخرج معرضاً للضغط الجوي .

.....  $\frac{V_2^2}{2g}$  شحنة السرعة عند مخرج العنفة. وتكون قيمتها قليلة جداً بحيث يمكن إهمالها .  
.....  $Z_2$  ارتفاع مخرج العنفة عن منسوب معين (m). فتكون الشحنة الكلية عند مخرج العنفة كالآتي :

$$H_2 = Z_2 \quad \dots\dots\dots (10)$$

اما الشحنة الكلية على العنفة والتي تمثل الفرق بين شحنة الماء عند دخوله العنفة وعند خروجه منها فتساوي :-

$$H = H_1 - H_2$$
$$H = (G \mp G) + \frac{1}{2g} \cdot \frac{16Q^2}{\pi^2 d_1^4} + Z \quad (11)$$

حيث Z ..... ارتفاع شحنة مقياس الضغط عن مخرج العنفة (m)

### 3.6.3 الجهاز المستعمل في التجربة

يتألف جهاز التجربة من دولاب (عنفة) بلتون مثبت على سطح خزان حديدي مستطيل الشكل مقسم الى جزئين ، الاول عبارة عن قناة مفتوحة لاستقبال الماء بعد مروره بالدولاب والثاني حوض لإعادة تجهيز الماء القادم من القناة الى الدولاب مرة ثانية بواسطة مضخة خاصة تتصل بحوض التجهيز وتقوم بضخ الماء من الحوض الى الدولاب خلال انبوب بلاستيكي ثبت خلاله مقياس الفتحة الحادة (او اي مقياس اخر) الذي يستعمل لقياس التصريف المجهز الى الدولاب . شكل (رقم - 1)

ربط صمام بين حوض التجهيز والمضخة (1) وبين المضخة والدولاب (2) للسيطرة على كميات المياه المجهزة من الحوض الى الدولاب ، في مدخل العنفة ثبت مقياس بوردون لقياس الضغط . ويتصل بعمود ادارة العنفة امطوانة القرملة من نوع بروني مجهزة بماء التبريد ، والقوة التي في نهاية الذراع القرملة يمكن قياسها بمساعدة ذراع ومقياس معدني . يثبت على عمود ادارة العنفة جهاز قياس السرعة يتصل بالانكا كوميتر الذي بواسطته يمكن قياس انطلاق العنفة .

يفرغ الحوض من الماء كلياً بواسطة انبوب التفريغ الذي يتصل بقعر الحوض . ينشق الماء من الانبوب ليضرب الدولاب بقوة من خلال صمام ابري خاص (3) يمكن بواسطته التحكم بقوة وكمية بنق الماء المسلط على الدولاب .



### 3.6.4 خطوات العمل

- 1 - يقفل الصمام بين الحوض والمضخة. صمام رقم (1) بينما يبقى الصمام رقم (2) مفتوحاً وتشغل المضخة وبعد اتمام تشغيلها يفتح الصمام رقم (1) تدريجياً وكذلك الصمام الأبري رقم (3) ويسمح لماء التبريد بالدخول إلى المرفل.
- 2 - بعد وضع الصمام الأبري بالفتحة المناسبة يشغل المرفل حيث تتناقص سرعة الانطلاق إلى ان تصل إلى نصف الانطلاق المصمم. ثم تسجل قراءة مقياس يوردون (G)، ومقياس الضغط (h) وقراءة التاكوميتر ( $n_1$ ) ومقياس القوة (P).
- 3 - يقلل الحمل على المرفل ولذلك تزداد سرعة انطلاق العنفة وبخطوات منتظمة حتى يتم الوصول إلى اعلى قيمة ممكنة لسرعة الانطلاق. يقلل الحمل بصورة تدريجية بحيث يمكن الحصول على (10-12) قراءة. ولكل قراءة من القراءات تسجل قيمة  $P_{nt}$  بينما تبقى قيمة  $H, G$  ثابتة لعدم تغيير فتحة الصمام الأبري.
- 4 - يسد الصمام الأبري بحوالي  $\frac{1}{8}$  من الفتحة الكلية له في هذه الحالة فان مقياس يوردون سيؤشر قيمة اعلى من قيمته الاولى، حيث يعاد إلى قيمته الاولى وذلك بتغيير التصريف بواسطة صمام السيطرة رقم (1) ثم تعاد الخطوات (2) مرة اخرى.
- 5 - يسد الصمام الأبري مرة اخرى وبصورة تدريجية وفي كل مرة يسد  $\frac{1}{8}$  من فتحته الكلية وتعاد الخطوة (4) في كل مرة.

### 3.6.5 الحسابات والنتائج

- 1 - يسجل قطر الالبوب عند مدخل العنفة  $d_1 \dots m$   
ارتفاع شفة مقياس الضغط عن مخرج العنفة  $Z \dots m$   
طول ذراع المرفل  $L \dots m$   
تسجل بقية قراءات التجربة في جدول القراءات والنتائج.
- 2 - تحسب شحنة السرعة عند مدخل العنفة من المعادلة (9)  
الشحنة الكلية على العنفة  $H$  من المعادلة (11)  
قادرة لئاء الداخلى إلى العنفة  $N_w$  من المعادلة (1)  
وحدة التصريف  $Q_1$  من المعادلة (7)

- 3 - ترسم العلاقات التالية:
- وحدة القدرة مع وحدة السرعة ( ولكل مرة تغير فيها فتحة الصمام الأبرى وعلى نفس الورقة البيانية) .
- عزم ادارة العنفة مع وحدة السرعة ( ولكل مرة تغير فيها فتحة الصمام الابرى وعلى نفس الورقة البيانية) .
- كفاءة العنفة مع وحدة السرعة ( ولكل مرة تغير فيها فتحة الصمام الأبرى وعلى نفس الورقة البيانية )

### 3.6.6 امثلة للمناقشة

- 1 - ماهي انواع العنفة ( التوربينات) المستعملة في الأعراض الهيدروليكية .
- 2 - ارسم شكلا توضيحاً يمثل مقطعا لعنفة بلتون مع بيان نوع الصفيحة المستعملة .





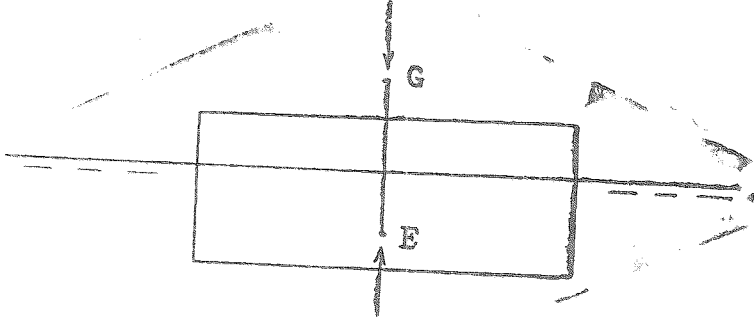
### 3.7 استقرار الجسم الطافي

3.7.1 مقدمة :-

ان مسألة استقرار الاجسام الطافية كالسفن والقوارب التي تطفو على سطح الماء واحدة من المسائل الواضحة الأهمية حيث من الضروري تعيين ما اذا كان اتران الجسم مستقراً او قلقاً بأيجاد ارتفاع مركز ثقله عن قاعدته . وفي هذه التجربة يجري عملياً تعيين استقرار عوامة مائية في حالات مختلفة بغير فيها ارتفاع مركز الثقل للعوامة ومقارنة النتائج العملية بتلك التي يتم الحصول عليها نظرياً.

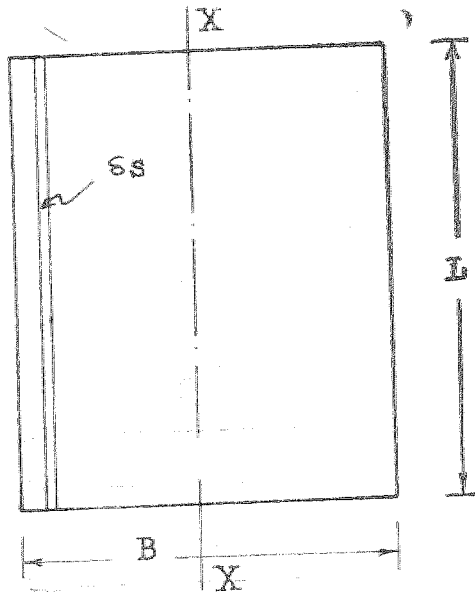
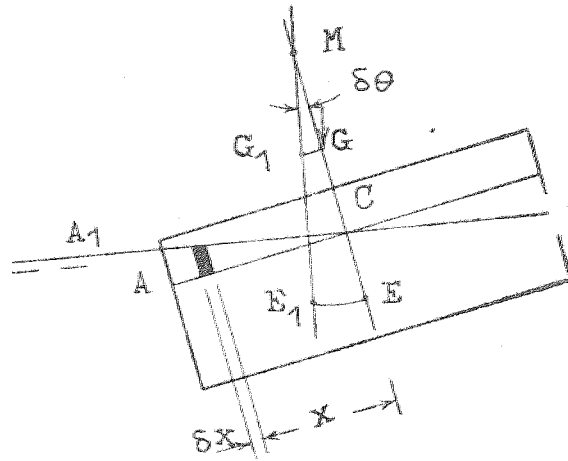
#### 3.7.2 العلاقات النظرية التي تعتمد عليها التجربة

نفرض وجود عوامة مستطيلة الشكل وطافية على سطح الماء وفي حالة اتزان كما في الشكل (رقم - 1) . ان وزن الجسم الطافي يؤثر شاقولياً إلى الأسفل خلال مركز الثقل (G) ويساوي في المقدار ويعاكس في الاتجاه القوة التعويمية التي تؤثر إلى الأعلى خلال مركزها (E) . ان القوة التعويمية تؤثر في مركز السائل المزاح من قبل العوامة) . وليبحث استقرار المجموعة، نزيح العوامة براوية صغيرة مقدارها  $(\delta\theta)$  من وضع الأتزان شكل (رقم-2). فإن مركز ثقل السائل المزاح بواسطة العوامة يتغير من E إلى  $E_1$  . ويتقاطع خط تأثير للقوة التعويمية الشاقولي مع امتداد الخط EG في النقطة M المركز البيني (المركز الأعلى). ان القوتين المتساويتان في المقدار والمتعاكستان في الاتجاه خلال النقطتين G و  $E_1$  تعملان كقوة ازدواجية على العوامة، فاذا كانت النقطة M تقع فوق G كما موضح في شكل (رقم - 2) فان هذه القوة الأزواجية تعمل على جعل العوامة مستقرة. اما اذا كانت



شكل (رقم - 1)

مخطط لعوامة مستطيلة الشكل موضح عليه مركز العوامة ومركز القوة التعويمية



شكل ارقم - 2 )

رسم توضيحي لايجاد مركز ثقل العوامسة

تقع تحت مركز الثقل G فمعنى هذا ان القوة الأزدواجية تزيد من ازاحة العوامة التي تكون غير مستقرة في هذه الحالة. ومن الواضح ان حالة الأستقرار المثالية الخاصة تحدث عندما تنطبق نقطة M على نقطة G .

الشكل ( رقم - 2 ) يوضح كيف يمكن الحصول على النقطة M والمسافة GM وذلك بأستخدام الثقل المتحرك لأزاحة مركز الثقل عن النقطة G .

فاذا كان وزن الثقل المتحرك هو  $(W_t)$  والمسافة التي يتحركها عن موضعه المركزي  $(\delta x_1)$  ووزن الجسم الطافي الكلي W فستكون المسافة التي يتحركها مركز الثقل الكلي في اتجاه موازي لقاعدة العوامة هي  $\delta x_1 = \frac{W_t}{W}$  وهذه الحركة تحدث موضع جديد للأتران وبزاوية ميل مقدارها  $\delta\theta$  عن الخط العمودي المار في نقطة M . نقطة  $G_1$  هي الموضع الجديد لمركز ثقل الجسم الكلي شكل (رقم-2) وهذا يعني :

$$GG_1 = \frac{W_t}{W} \delta x_1 \quad \dots\dots\dots (1)$$

ومن الشكل التوضيحي :

$$GG_1 = GM \delta\theta \quad \dots\dots\dots (2)$$

وبحذف  $GG_1$  من المعادلتين السابقتين يمكن ايجاد المعادلة التالية :

$$GM = \frac{W_t}{W} \frac{\delta x_1}{\delta\theta} \quad \dots\dots\dots (3)$$

أو

$$GM = \frac{W_t}{W} \left( \frac{dx_1}{d\theta} \right) \quad \dots\dots\dots (4)$$

ان ارتفاع المركز البيني يمكن تعينه بقياس  $\left( \frac{dx_1}{d\theta} \right)$  اذا كانت قيمة  $W_t$  و W معلومة. بصورة عامة يمكن حساب المسافة EM بملاحظة الشكل (رقم-2) حيث عزم الازاحة حول E الناتج من ازاحة مركز التعويمية الى  $E_1$  والذي يعادل- اضافة في القوة التعويمية تتمثل بالمثلث  $AA_1C$  في احدى جهتي لخط المركز - ونقصان في القوة التعويمية يتمثل بالمثلث  $FF_1C$  في الجهة الثانية من خط المركز. الجزء المظلل في الشكل (رقم- 2 ) يمثل مساحة مقدارها  $\delta s$  في المسقط الرأسي وارتفاع  $x \delta\theta$  في المقطع الرأسي اي ان حجمه هو  $x \delta s \delta\theta$  ويكون وزن السائل المزاح بواسطة هذا الجزء هو  $\gamma x \delta s \delta\theta$  حيث  $\gamma$  كثافة السائل . وهذه هي القوة التعويمية الاضافية بسبب الجزء  $x \delta s \delta\theta$  وعزمها حول E هو  $\gamma x^2 \delta s \delta\theta$  وبصبح عزم الازاحة الكلي حول E يساوي  $\int x^2 ds \int \gamma \delta\theta$

ان حدود التكامل الاخير تشمل المساحة الكلية للعوامة الملامسة لسطح السائل .  
 انرمز للتكامل الاخير بالرمز I

$$I = \int x^2 ds \quad \dots\dots\dots (5)$$

حيث I العزم الثاني للمساحة S حول المحور X-X  
 ان عزم الازاحة الكلي حول E يمكن ان يساوي ايضاً مجموع القوى التعويضية (γVol.)  
 مضروباً في الذراع EE<sub>1</sub> ( في هذه الحالة Vol. تمثل حجم السائل المزاح من العوامة  
 وبمساواة الناتج الاخير بالمقدار الذي يمثل عزم الازاحة الكلي اعلاه يكون :

$$\gamma \text{ Vol. } EE_1 = \gamma \delta \theta \int x^2 ds$$

وبالتعويض عن قيمة التكامل من المعادلة ( 5 ) في المعادلة الاخرية يكون

$$\text{Vol. } EE_1 = \delta \theta I$$

وكذلك بالرجوع الى الشكل (رقم 2 -) حيث

$$EE_1 = EM \delta \theta \quad \dots\dots\dots (6)$$

وبذلك سيكون

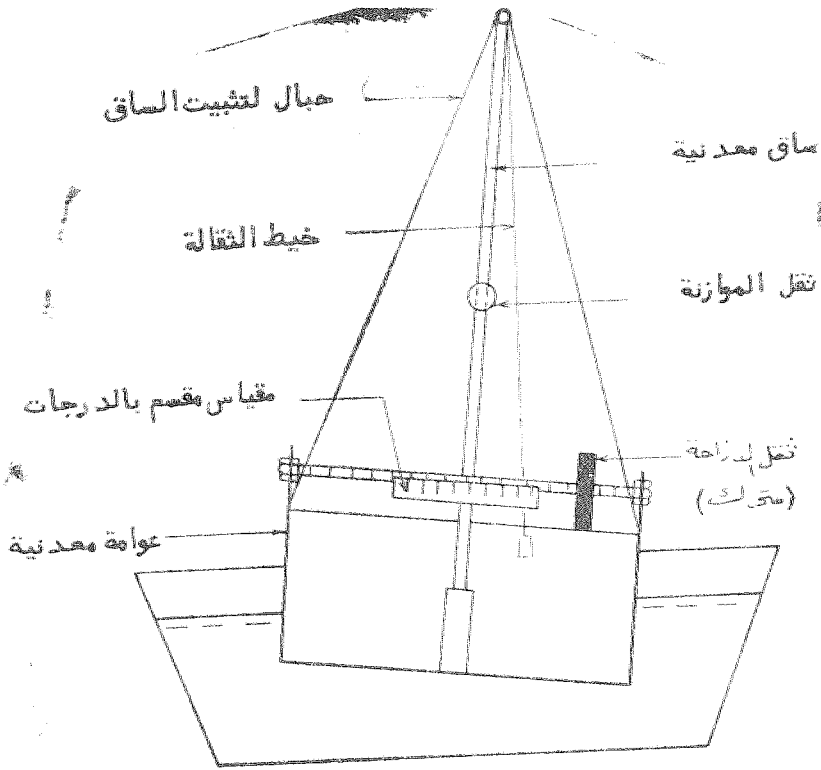
$$EM = \frac{I}{\text{vol}} \quad \dots\dots\dots (7)$$

ان النتيجة الاخيرة والتي تعتمد فقط على قياس ابعاد العوامة وحجم السائل الذي ازاحته،  
 يمكن استعمالها للتأكد من دقة التجربة ويمكن تطبيقها على الجسم الطافي مهما اختلف  
 شكله ، على شرط ان تؤخذ I حول المحور الذي يمر من مركز مساحة الجسم في مستوى  
 سطح الماء ويبقى هذا المحور عامودياً على المستوى الذي تحدث فيه ازاحة الزاوية . وبالنسبة  
 للعوامة المستطيلة فأن E تقع على عمق تحت مستوى سطح الماء يساوي نصف العمق المغمور .  
 وبدلالة ابعاد العوامة فأن قيمة I تكون :

$$I = \int x^2 ds = \int_{-(D/2)}^{D/2} x^2 L dx = \frac{1}{12} LD^3 \quad \dots\dots\dots(8)$$

### 3.7.3 الجهاز المستعمل في التجربة

ان تركيب الجهاز موضح في الشكل (رقم 3-3) يتألف من عوامة مستطيلة المتطع مثقلة في القاعدة بحيث يمكن ان تطوف على سطح الماء، وعلى سطح العوامة ثبتت ساق معدنية بصورة عمودية بواسطة حبال جانبية ويتزلق على الساق ثقل الموازنة يمكن عن طريقه تغيير مركز ثقل الجسم الطافي وذلك بتحريكه الى الاسفل او الاعلى. وثبت ثقل آخر (ثقل الازاحة) يتحرك على قضيب معدني افقي مواز لقاعدة العوامة يمكن عن طريقه تغيير ميل زاوية العوامة بتحريكه مسافة معلومة وتقاس زاوية ميل العوامة عن المستوى الافقي على مقياس مقسم بالدرجات مثبت امام القضيب المعدني .



شكل (رقم - 3)

### الجهاز المستعمل في التجربة

عوامة معدنية طافية على سطح الماء ومائلة بزواوية معينة عن الخط

المعمودي

### 3.7 خطوات العمل

- توزن جميع المركبات المختلفة للجسم الطافي ويقاس طول وعرض العوامة بصورة بسيطة ويثبت الساق في موضعه في العوامة ويشد بقوة بواسطة الحبال .
- لأيجاد مركز ثقل العوامة عن قاعدتها توضع العوامة على جانبها كما في الشكل (رقم-4) بحرك ثقل الموازنة على الساق الى ان تتم موازنة العوامة في وضعها الاخير ويجب ان يلف يظ الثقالة حول المقياس للحصول على الموضع الطبيعي للعوامة . تؤشر نقطة الاتزان بقاس بعدها عن قاعدة العوامة وكذلك تقاس المسافة المتبقية اعلى ثقل الموازنة . من ضروري ان يقاس بعد مركز ثقل العوامة عن سطحها الخارجي ولذلك يجب اضافة حلك العوامة الى القراءة السابقة .
- بعد تثبيت ارتفاع مركز العوامة في حالة الاتزان فإنه من الممكن حساب ارتفاع مركز ثقل العوامة و ثقل الموازنة في اي موضع آخر . الان العوامة جاهزة للعوام في الماء من الملائم ان يكون ثقل الموازنة في موضعه الطبيعي بحيث لا يميل الى احدى جهتي عوامة وتكون زاوية الازاحة تساوي صفرأ عندما يكون ثقل الازاحة في مركزه .
- يحرك ثقل الازاحة عدة مرات وعلى جانبي مركز العوامة وفي كل مرة تسجل زاوية الازاحة ، كما تسجل اكبر الازاحة يمكن الحصول عليها بالنسبة لعوامة .
- ماد العملية بعد تغيير ثقل الموازنة الى مواضع جديدة مختلفة .

### 3.7.4 الحسابات والنتائج

تسجل القراءات التالية من الجهاز

$$W = \dots N \quad \text{الوزن الكلي للجهاز}$$

$$W_t = \dots N \quad \text{وزن ثقل الازاحة}$$

$$W_o = \dots N \quad \text{وزن ثقل الموازنة}$$

$$B = \dots m \quad \text{عرض العوامة}$$

$$L = \dots m \quad \text{طول العوامة}$$

$$(I) \quad m^4 \quad \text{العزم الثاني للمساحة}$$

$$I = \frac{1}{12} LD^3$$

$$\text{Vol.} \quad m^3 \quad \text{حجم الماء المزاح}$$

$$\text{Vol.} = \frac{W}{\gamma}$$

المسافة m. EM

$$EM = \frac{l}{Vol.}$$

عمق الجزء المغمور من العوامة m d

$$d = \frac{V}{LD}$$

مركز القوة التعويضية m CE

$$CE = \frac{d}{2}$$

ارتفاع المركز البيني عن سطح الماء m CM

$$CM = EM - CE$$

من التجربة : حين نضع العوامة على جانبها ونوازنها نجد:

بعد ثقل الموازنة عن قاعدة العوامة  $Y_1 = m$

بعد مركز الثقل ( G ) عن قاعدة العوامة  $\bar{Y} = m$

أن بعد مركز الثقل  $\bar{Y}$  عن قاعدة العوامة يتعابر مع بعد ثقل الموازنة  $Y_1$  كما في المعادلة:

$$\bar{Y} = \frac{Y_1}{N_n} + K \quad \dots\dots\dots (9)$$

حيث  $N_n$  نسبة الوزن الكلي للعوامة إلى وزن ثقل الموازنة.

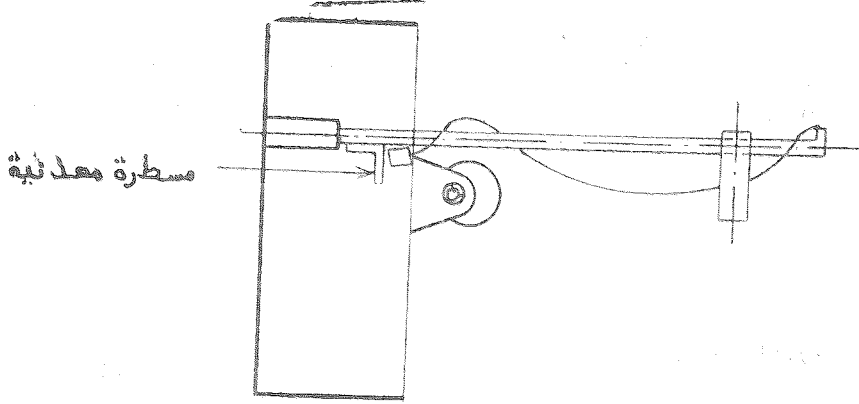
$K$  ثابت يمكن إيجاد قيمته بعد التعويض عن قيمة  $\bar{Y}$  ،  $Y_1$  ،  $N_n$  في حالة

العوامة وهي متوازنة .

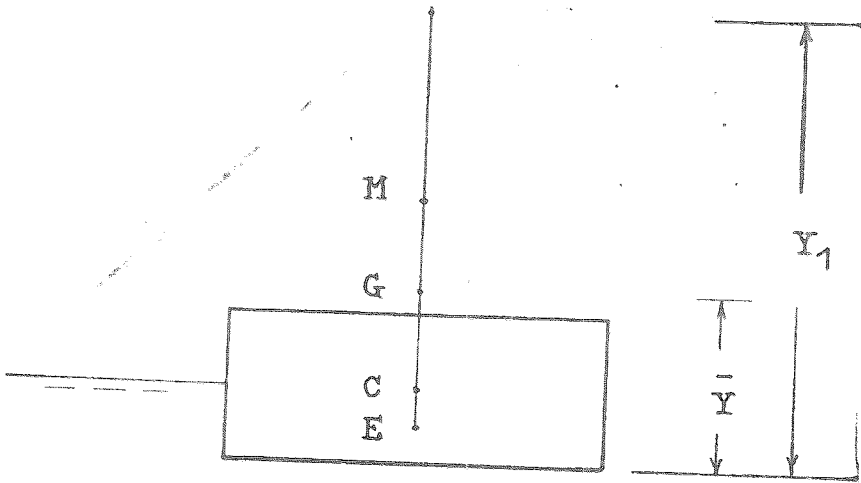
في الشكل ( رقم - 5 ) يكون بعد مركز الثقل  $G$  عن سطح الماء

$$CG = \bar{Y} - d \quad \dots\dots\dots (10)$$





شكل ( رقم - 4 )  
طريقة إيجاد مركز ثقل العوامة



شكل ( رقم - 5 )  
رسم تخطيطي للعوامة يوضح مركز ثقل العوامة ومركز ثقل الجزء الطاف

تسجل القراءات التي يتم الحصول عليها أثناء التجربة لتغير زاوية ميل العوامة مع تغير ثقل الموازنة وثقل الازاحة في الجدول (رقم 1-). كما ترسم العلاقة بين زاوية الميل وثقل الازاحة على ورق بياني اعتيادي في كل مرة يغير فيها موضع ثقل الموازنة. من المعادلة (4) تحسب قيمة GM حيث

$$GM = \frac{Wt}{W} \left( \frac{dx_1}{d\theta} \right)$$

تحسب قيمة CM بإضافة قيمة GM الموجودة في المعادلة (4) الى قيمة CG الموجودة من المعادلة (10)

$$CM = GM + CG$$

تثبت النتائج كما في الجدول (رقم 2-)

3.7.6 اسئلة للمناقشة

- 1 - كيف يؤثر تغير كثافة السائل الذي تطفو فيه العوامة على استقرارها ؟
- 2 - كيف يتغير بعد مركز ثقل العوامة عن سطح الماء CG مع تغير الحدار خط

الاستقرار للعوامة  $\left( \frac{dx_1}{d\theta} \text{ mm/degree} \right)$  ؟



3.7.7 جدول التدرجات والنتائج  
 3.7.7.2 حسابات مركز الثقل والمركز البيئي

بعد المركز البيئي عن سطح الماء CM mm	الارتفاع البيئي GM mm	$\left(\frac{dx}{d\theta}\right)$ mm/deg.	بعد مركز ثقل العوام عن سطح الماء CG mm	رقم
				1
				2
				3
				.
				.
				.
				.
				.
				h

### 3.8 الجريان الدودوري ( الدوامي )

#### 3.8.1 مقدمة :-

عندما تتحرك جزئيات المائع في خطوط مسار دائري حول محور مايتكون الدردور، ويسمى الجريان في هذه الحالة بالجريان الدردوري وللجريان الدردوري تطبيقات هندسية مثل حركة الموائع في المضخات والعنفات . ويمكن تصنيف الجريان الدردوري إلى نوعين :-

1 - الدردور الحر ( Free Vortex ) :- يتكون الدردور الحر عندما تعطى لجزئيات المائع مركبة سرعة دورانية عند قطر كبير ، ثم تترك لتتحرك بصورة حرة لتخرج من فتحة عند المحور وفي هذه الحالة تكون الشحنة الكلية ثابتة عند أية نقطة .

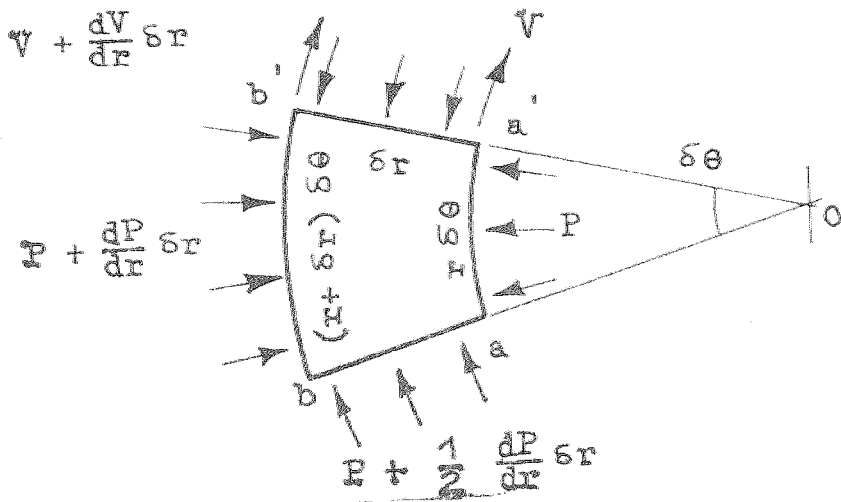
2 - الدردور القسري ( Foreed Vortex ) :- يتكون الدردور القسري عندما تجبر جزئيات المائع على الدوران حول محوره الرأسي . في هذه الحالة تتغير الشحنة الكلية من نقطة إلى أخرى حسب بعدها عن محور الدوران تبعاً لتغيير السرعة المماسية لحركة الجزئيات السائل . ان الغرض من التجربة هو دراسة الدردور وانواعه ودراسة شكل السطح الحر للدردور وكيفية تغير الشحنة في خطوط مسار السائل .

#### 3.8.2 العلاقات النظرية التي تعتمد عليها التجربة

بفرض وجود جزء من سائل في حالة جريان ثابت يدور حول محور ثابت (O) وليكن هذا الجزء aa' bb' شكل ( رقم 1- )  
ولتكن (V) سرعة السائل المماسية، وتغير السرعة المماسية (V) حسب بعد النقطة عن محور الدوران .

$$V = f(r) \quad \text{حيث}$$

r ... نصف القطر من محور الدوران إلى أية نقطة ما . m  
على فرض اهمال تأثير قوة الجاذبية شكل (رقم 1- ) فان قوة الضغط المؤثرة على الجزء aa' bb' تكون



شكل (رقم 1 -)

القوى المؤثرة على جزيئة من السائل تدور حول محور ثابت

ت على الوجه aa' و  $P + \frac{dP}{dr} \delta r$  على الوجه bb'

على الوجه ab و  $P + \frac{1}{2} \frac{dP}{dr} \delta r$  على الوجه a'b'

نتكون محصلة القوى في اتجاه المركز

$$F = -Pr\delta\theta + \left( P + \frac{dP}{dr} \delta r \right) (r + \delta r) \delta\theta$$

$$= 2 \left( P + \frac{1}{2} \frac{dP}{dr} \delta r \right) \delta r \sin \frac{\delta\theta}{2}$$

ويمكن بعد اهمال الحدود من الدرجة الثانية اختصار المعادلة إلى :

$$F = \frac{dP}{dr} r \delta\theta \delta r$$

$$m = \rho r \delta\theta \delta r$$

ان كتلة الجزء aa'bb' تساوى

ويكون تعجيل الحركة باتجاه المركز

$$a_t = v^2$$

وباستخدام قانون نيوتن والذي ينص على ان القوة = الكتلة × التعجيل

$$F = m \cdot a_t$$

حيث

F ... القوة N

m ... الكتلة N.sec<sup>2</sup>/m.

a<sub>t</sub> .. التعجيل m/sec<sup>2</sup>.

فيكون

$$\frac{dp}{dr} r \delta\theta \delta r = \rho r \delta\theta \delta r \frac{V^2}{r}$$

$$\frac{dp}{dr} = \rho \frac{V^2}{r} \dots\dots\dots(1)$$

وبقسمة طرفي المعادلة رقم (1) على  $\rho g$  يكون

$$\frac{d}{dr} \left( \frac{p}{\rho g} \right) = \frac{V^2}{gr} \dots\dots\dots(2)$$

حيث تمثل

$$m. \text{ الشحنة الساتيكية } \dots\dots\dots \frac{P}{\rho g}$$

في حالة اعتبار تأثير قوة الجاذبية فان الشحنة الساتيكية تساوى  $(P/\rho g + Z)$  وتصبح المعاد رقم (2) بالصيغة التالية :-

$$\frac{d}{dr} \left( \frac{P}{\rho g} + Z \right) = \frac{V^2}{gr} \dots\dots\dots(3)$$

وبما ان الشحنة الكلية تساوى

$$H = \frac{P}{\rho g} + Z + \frac{V^2}{gr}$$

وبعملية تفاضل لطرفي المعادلة بالنسبة لنصف القطر  $r$  . نحصل على



$$\frac{dH}{dr} = \frac{d}{dr} \left( \frac{V^2}{2g} \right) + \frac{d}{dr} \left( \frac{P}{\rho g} + Z \right)$$

$$\frac{d}{dr} \left( \frac{V^2}{2g} \right) = \frac{V}{g} \cdot \frac{dv}{dr}$$

لكن

ومن المعادلة رقم (3)

$$\frac{d}{dr} \left( \frac{P}{\rho g} + Z \right) = \frac{V^2}{gr}$$

$$\frac{dH}{dr} = \frac{V}{g} \cdot \frac{dv}{dr} + \frac{V^2}{gr}$$

$$= \frac{V}{g} \left( \frac{dv}{dr} + \frac{V}{r} \right) \dots\dots\dots(4)$$

ان المعادلات (3) و (4) هي المعادلات الرئيسية التي تحدد الشحنة الستاتيكية والشحنة الكلية لخطوط التيار في الجريان الدردوري.

1- الدردور القسري :

في هذه الحالة يدور السائل ككتلة واحدة حول محور رأسي كما في الشكل (رقم 2-)

$$V=wr$$

وتكون السرعة .

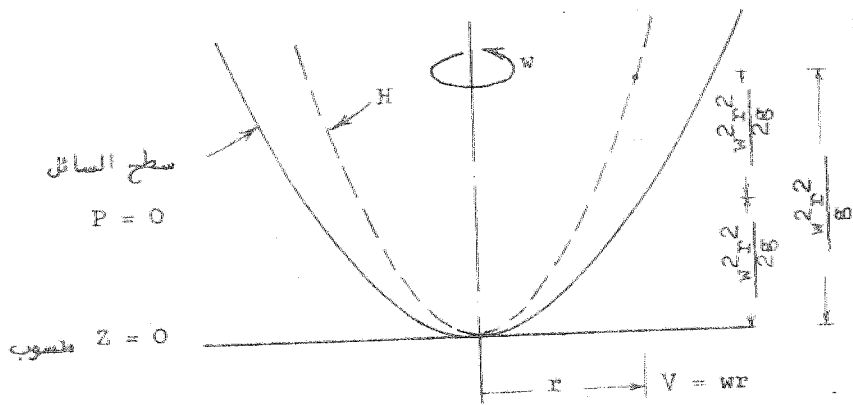
حيث

w تمثل السرعة الزاوية rad/sec

$$w=2\pi n/60$$

n .... تمثل عدد الدورات في الدقيقة .

وبالتعويض عن قيمة (V) في المعادلة رقم (3) ينتج .



شكل (رقم 2-)  
 الدوران التام

$$\frac{d}{dr} \left( \frac{P}{\rho g} + Z \right) = \frac{w^2 r}{g} \quad \dots\dots\dots(5)$$

وبإيجاد التكامل للمعادلة رقم (5)

$$\frac{P}{\rho g} + Z = \frac{w^2 r^2}{2g} + C \quad \dots\dots\dots(6)$$

حيث

C ..... تمثل ثابت التكامل

ولإيجاد قيمتها نأخذ الضغط الجوي كنسوب ، كما نأخذ مستوى السطح عند المحور أساسا

$$Z = 0 , P = 0 , r = 0$$

لقياس Z فباعتبار تكون قيمه (C) تساوى صفرا وبالتعويض في المعادلة رقم (6)

$$\frac{P}{\rho g} + Z = \frac{w^2 r^2}{2g}$$

وبما ان الضغط هيدروستاتيكي فان  $\frac{P}{\rho g}$  تساوى عمق الماء وبذلك تكون قيمة  $\frac{P}{\rho g}$

تساوى صفرا على السطح وبذا تصبح المعادلة السابقة بالصيغة التالية :

$$Z = \frac{w^2 r^2}{2g} \quad \dots\dots\dots(7)$$

وهذه المعادلة تحدد شكل السطح الحر للدردور القسرى .

ولإيجاد التغير في الشحنة الكلية تستعمل المعادلة رقم (4) :

$$\frac{dH}{dr} = \frac{V}{g} \left( \frac{dv}{dr} + \frac{V}{r} \right)$$

وبما ان

$$\frac{dH}{dr} = \frac{wr}{g} (w + w)$$

$$= \frac{2w^2r}{g}$$

وبإيجاد التكامل

$$H = \frac{w^2r^2}{g} + C \quad \dots\dots\dots(8)$$

وباعتبار (H=0) عندما يتكون (r=0) فان (C=0) وتصبح المعادلة رقم (8) كالآتي :-

$$H = \frac{W^2r^2}{g} \quad \dots\dots\dots(9)$$

وتحدد هذه المعادلة تغير الشحنة الكلية بالنسبة لنصف القطر خلال خطوط التيار للدور التسري

## 2- الدردور الحر :

في الدردور الحر نظريا لا تتغير الشحنة الكلية خلال خطوط التيار وبالرجوع إلى المعادلة رقم (4)

$$\frac{dH}{dr} = \frac{V}{g} \left( \frac{dv}{dr} + \frac{V}{r} \right) = 0$$

$$\frac{dv}{dr} + \frac{V}{r} = 0$$

وبإيجاد التكامل للمشتقة السابقة

$$Vr = C \quad \dots\dots(10)$$

حيث

(C) .... تمثل ثابت التكامل

ويلاحظ من المعادلة السابقة ان السرعة (V) تتناسب عكسياً مع نصف القطر وعلى ذلك فان السرعة (V) تكون صغيرة جداً على مسافة بعيدة من المحور ( اي حين تكون r كبيرة ).

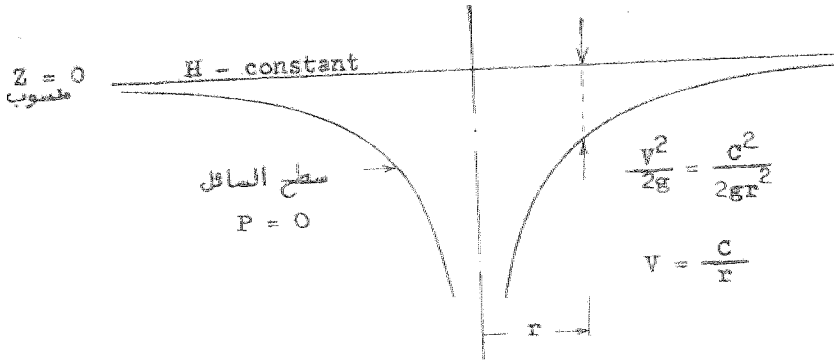
اما في المحور فان قيمة (r = 0) وبذلك تكون السرعة تساوي (∞) ( نظرياً ) او ان السرعة تكون كبيرة جداً ( عملياً ) وباختيار مستوى السطح عند نصف قطر كبير كنسب معين نجد ان سطح السائل الحزين يخفض في اتجاه المحور كما هو موضح في شكل ( رقم - 3 )<sup>هـ</sup> ويكون مقدار الهبوط (-Z) تحت خط المنسوب عند اي نصف قطر مساوياً :

$$-Z = \frac{V^2}{2g} = \frac{C^2}{2gr^2} \quad \dots\dots(11)$$

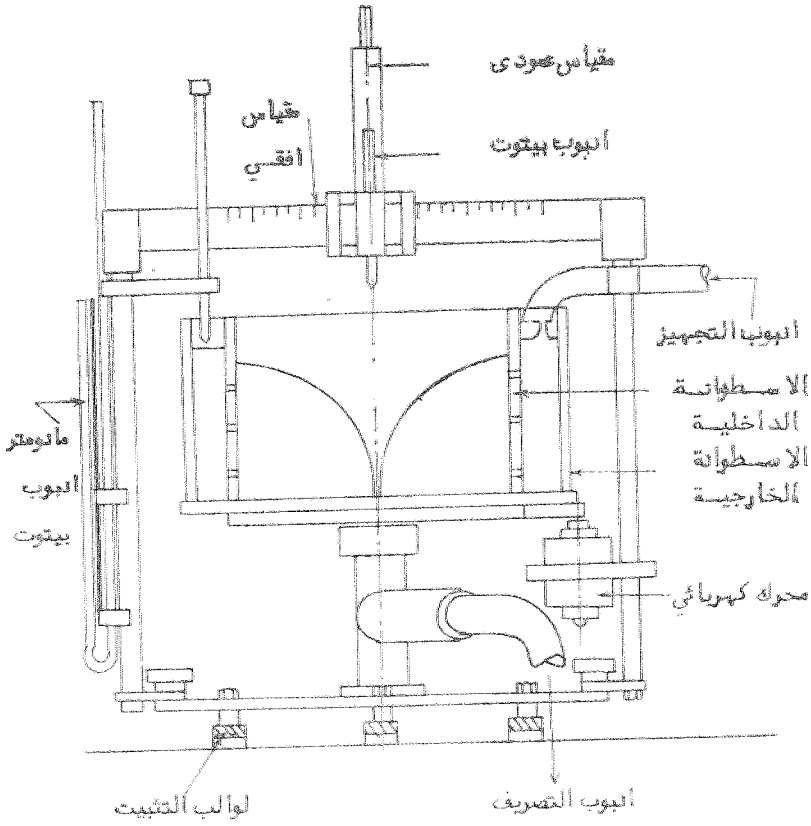
وهذه المعادلة تحدد شكل السطح للدرودور الحر .

### 3.8.3 الجهاز المستعمل في التجربة

يتكون جهاز التجربة كما موضح في الشكل ( رقم - 4 ) من اناء اسطوانتي الشكل يدور حول محوره الرأسي بواسطة محرك كهربائي صغير ويمكن التحكم في الدوران بواسطة مفتاح في صندوق السيطرة، وهناك اسطوانة اخرى مثقبة اصغر من الاسطوانة الرئيسية يمكن وضعها داخل الجهاز ايضا ويوجد فتحة في قاعدة الاناء عند المحور تسد بواسطة سدادة خاص وترفع الاسطوانة المثقبة من الجهاز في حالة الدرودور التسري.



شكل ( رقم-3 )  
الردور الحر



شكل ( رقم-4 )  
الجهاز المستعمل في التجربة

اما في حالة الدردور الحر فيرفع السداد من الفتحة وتعاد الاسطوانة المثقبة الى موضعها .  
ويغذى الجهاز بالماء من الفراغ بين الاسطوانتين كما هو موضح في الشكل .  
يثبت في أعلى الاسطوانة تدريج افقي وآخر رأسي ينتهي بإبرة قياس لتحديد شكل السطح الحر  
للدردور ، كما يمكن استبدال ابرة القياس بأنبوب بيوت ( انبوب قياس سرعة الجريان )  
وذلك لقياس الشحنة الكلية .

#### 3.8.4 خطوات العمل

##### A - الدردور القسري :

- 1- ترفع الاسطوانة الوسطية المثقبة .
- 2- تسد الفتحة الوسطية بواسطة السداد ويثبت التدريج الافقي في موضعه كما تثبت  
ابرة القياس في الفتحة المخصصة لها مع التدريج الرأسي .
- 3- تحرك ابرة القياس الى الاسفل والى الجانبين حتى تلمس السداد في منتصفه وبذلك  
يثبت محور الاسطوانة بالنسبة للمقياس الافقي .
- 4- يصب ماء الى حوالي منتصف الاسطوانة ويبدأ بتشغيل محرك الدوران وتثبت  
سرعة الدوران .
- 5- يتأثر الماء تدريجياً بدوران الاسطوانة وبعد بضع دقائق تتحرك جميع جزيئات الماء  
كجسم واحد حول المحور ويأخذ سطح الماء شكل القطع المكافئ . يبدأ حينئذ  
بقياس احدائيات سطح الماء على مسافات افقية متتالية تساوي ( 1cm )
- 6- توضع انبوبة بيوت بدلا من ابرة القياس ويقاس التغيير في الشحنة الكلية على مسافات  
افقية متتالية كما في الخطوة رقم (5) .

##### B - الدردور الحر :

- 1- يرفع التدريج الافقي والعمودي وتوضع الاسطوانة المثقبة في موضعها ويرفع السداد  
من قاعدة الاناء الاسطوانتي الذي يدار بسرعة بطيئة لضمان توزيع الماء بصورة  
متساوية داخل الاسطوانة .
- 2- يجهز الجهاز بالماء من حوض التجهيز وتثبت كميته بحيث يكون ارتفاع الماء ثابت  
في الاسطوانة .
- 3- يجري قياس احدائيات سطح الماء والشحنة الكلية كما في حالة الدردور القسري  
وعلى مسافات افقية متتالية كل ( 1cm )

### 3.8.5 الحسابات والنتائج

#### A - الدور القسري

- 1 - تحسب أثناء التجربة عدد الدورات في الدقيقة الواحدة (n)
- 2 - السرعة الزاوية (w) بوحدات ( rad./sec )

$$w = \frac{2\pi n}{60}$$

- 3 - تغير السطح الحر للدور القسري من المعادلة

$$Z = \frac{w^2 r^2}{2g}$$

- 4 - التغير في الشحنة من المعادلة

$$H = \frac{w^2 r^2}{g}$$

#### B - الدور الحر

- 1 - تحسب قيمة (Z) من المعادلة

$$Z = \frac{C^2}{2gr^2}$$

- 2 - تحسب الشحنة الكلية من المعادلة

$$H = \frac{V^2}{2g} + Z$$

- C - يرسم لمقطع الجانبي للدور الحر والقسري والذي حسب من المعادلات ويقارن مع المقطع الجانبي الموجود في التجربة على ورق بياني اعتيادي

- D - يرسم تغير الشحنة المحسوب من المعادلات ويقارن مع تغير الشحنة الموجود في التجربة على ورق بياني اعتيادي .

- E - لاستعمال المعادلة رقم (10) يجب الحصول على قيمة (C) التي يمكن ايجاد قيمتها بالعودة الى القيم المتوصل اليها من التجربة حيث ترسم قيم (-Z) مع  $(\frac{C^2}{2g})$  على

ورق بياني اعتيادي ويكون انحدار المستقيم يساوي  $(\frac{C^2}{2g})$  .



#### 3.8.4 اسئلة للمناقشة

- 1 - ما الاستعمالات العملية لظاهرة الرددور ؟
- 2 - هل ينطبق المآطع الجانبي الذي تم الحصول عليه من التجربة مع ذلك المحسوب المعادلات ؟
- 3 - اذا تركت قطعة صغيرة على سطح الرددور فهل تتحرك باتجاه المركز ؟ . باتجاه عكس المركز؟ ام تتحرك على مسار دائري وعلى مسافة ثابتة من المركز في حالة الرددور القسري ؟ وماذا يحدث اذا كان الرددور حرأ ؟

3.8.7  
3.8.7.1

تعداد ملك الممتلكات والالتزامات  
المستحققة

احصائيات المصالح الجارية للمستحقين

الاحصائيات المصنفة (موسم الاجتهاد)

الاحصائيات المصنفة (7)		الاحصائيات المصنفة (موسم الاجتهاد)									
Z cm	$r^m$ cm	$Z = \frac{Z_L + Z_R}{2}$ cm	$r^m = \frac{r_L + r_R}{2}$ cm	$Z_R = Z_n - Z_1$ cm	$Z_n$ cm	$r_R$ cm	$Z_L = Z_n - Z_1$ cm	Z cm	$r_L$ cm		
1	.					1			.		
.	.					.			.		
.	.					.			.		
n	n					n			n		

3.8.7  
3.8.7.1  
جيد  
الدراسات المتعددة (البيئية)  
البيئية المتعددة (البيئية)

(H) cm  
البيئية المتعددة (H) cm

البيئية المتعددة (H) cm  
البيئية المتعددة (H) cm  
البيئية المتعددة (H) cm  
البيئية المتعددة (H) cm  
البيئية المتعددة (H) cm  
البيئية المتعددة (H) cm  
البيئية المتعددة (H) cm  
البيئية المتعددة (H) cm  
البيئية المتعددة (H) cm  
البيئية المتعددة (H) cm

H cm	r cm	$H = \frac{H_L + H_R}{2}$ cm	$r = \frac{r_L + r_R}{2}$ cm	HR cm	rR cm	HL cm	rL cm
					1		1
					.		.
					.		.
					.		.
					n		n

3.8.7 من جدول المتطلبات والنتائج  
 العدد 3.8.7.2 إلى

1. احصاءات المتبع الجاهزي للادوية

الاحصاءات المتبعه (من الجدولين)

الاحصاءات المتبعه (من الجدولين)									
الاحصاءات المتبعه (من الجدولين)									
Z cm	r cm	$Z = \frac{Z_L + Z_R}{2}$ cm	$r = \frac{r_L + r_R}{2}$ cm	$Z_R = Z_0 - Z_n$ cm	Zn cm	$r_R$ cm	$Z = Z_0 - Z_n$ cm	Zn cm	$r_L$ cm
1	.	.	.	.	.	1	.	.	1
n	.	.	.	.	.	n	.	.	n

حجمية Z<sub>0</sub> تتدنى الى 0 في الاخير من جدول الاحصاءات المتبعه

\*

3.8.7  
 3.87.2  
 القوس الجذري واللوحة  
 رقم 1  
 11

(H) cm  
 المساحة الكلية

المساحة الكلية المقطوعة القطرية	المساحة الكلية (من الجذر وحدة)					
$H = \frac{V^2}{2g} + Z$ cm	$H = \frac{H_L + H_R}{2}$ cm	$= \frac{r_L + r_R}{2}$ cm	H <sub>R</sub> cm	r <sub>R</sub> cm	H <sub>L</sub> cm	r <sub>L</sub> cm
				1		1
				.		.
				.		.
				n		n

### 3.9 دراسة توزيع السرعة حول اقواس القنوات المفتوحة

3.9.1 مقدمة :-

تكثر الاقواس والانحناءات في الانهر غالباً بسبب العوامل الطبيعية كالنوعية والفيضانات ، وفي بعض الاحيان تتطلب الظروف وخاصة في مشاريع الري والبرز استعمال الاقواس في القنوات المفتوحة لتفادي عائق ما او لمتطلبات اقتصادية وهندسية . ان استعمال الاقواس في القنوات يخلق مجموعة مشاكل من الناحية الهندسية والتصميمية ويحتاج الامر الى استخدام علاقات ومعادلات وفرضيات معقدة تختلف عن تلك التي تستعمل في القنوات الاعتيادية .

تعتبر سرعة الجريان وتوزيع السرعة في أي مقطع من القناة من العوامل المهمة التي تتحكم في تصميم القناة وكفاءتها لنقل المياه او الري ، ولذلك عمد عدد كبير من الباحثين الى دراسة الجريان وعواصمه وتأثير القوس او الانحناء عليه عن طريق دراسة توزيع السرعة في مقاطع مختلفة من القناة وكيف تتغير في الاتجاهات الثلاثة. ان الغرض من هذه التجربة هو دراسة توزيع السرعة في أي مقطع عمودي من قناة مفتوحة ثم كيفية تغيير السرعة في قوس القناة .

#### 3.9.2 العلاقات النظرية التي تعتمد عليها التجربة

ان انبوبة برانتل ( Prandtl tube ) المستعملة في التجربة لقياس شحنة السرعة تتكون من انبوتين احدهما كبيرة القطر بداخلها انبوبة اصغر قطراً فتحتها باتجاه الجريان . اما الانبوبة الكبيرة القطر فينتب محيطها كما في الشكل ( رقم - 1 ) وتتصل كل منها بانبوبة بلاستيكية تتصل بدورها بمقياس الشحنة .

من الواضح ان الانبوبة الكبيرة القطر تقيس الشحنة الستاتيكية  $(\frac{P}{\gamma})$  بينما تقيس الانبوبة الثانية الشحنة الديناميكية  $(\frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g})$  فيكون الفرق بين قراءة الانبوتين  $(\Delta h)$

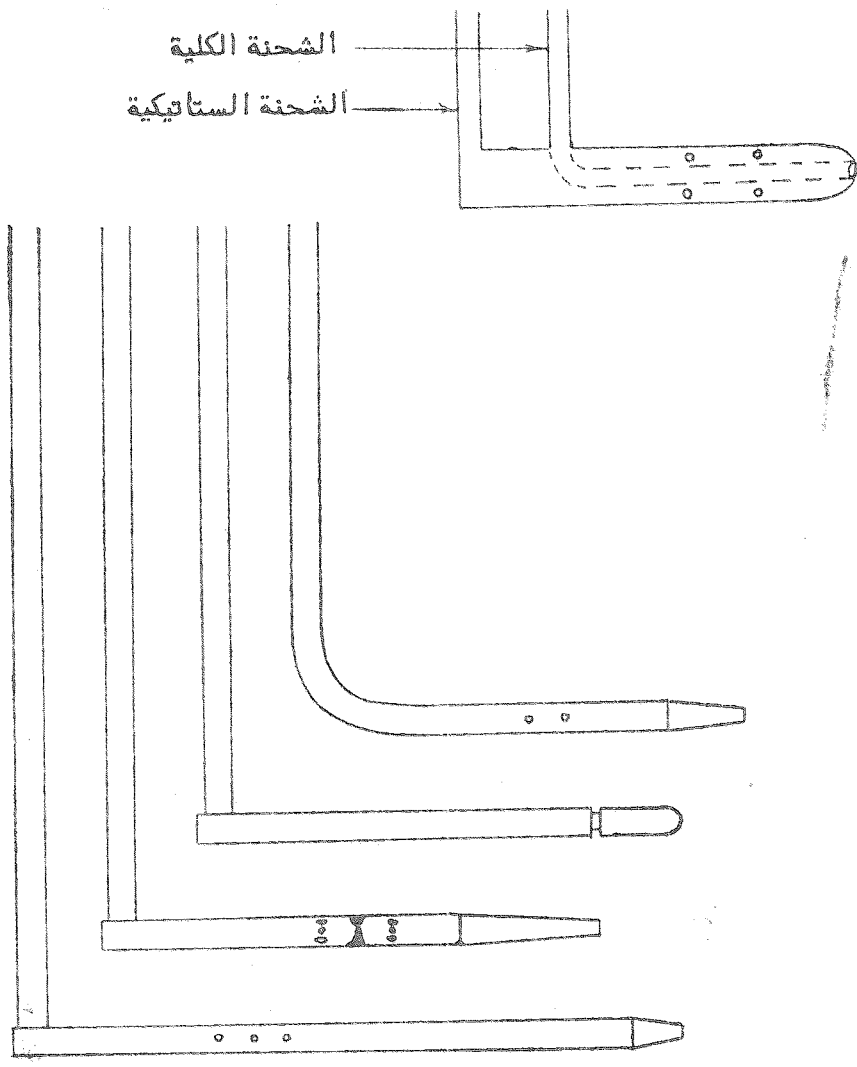
يمثل  $(\frac{V^2}{2g})$

$$\frac{V^2}{2g} = \Delta h$$

$$\therefore V = \sqrt{2g\Delta h}$$

أي أن

.... (1)



شكل ( رقم - 1 )  
 مجموعة مختلفة الاشكال من انايب بيتوت الساتيكية بينها نموذجين من النبوة برانتل  
 في الاعلى والوسط

### 3.9.3 الجهاز المستعمل في التجربة

ان القناة المستعملة في هذه التجربة مستطيلة المقطع تتكون من جزء مستقيم في مقدم القوس وآخر في مؤخر القوس الذي يكون بزاوية معلومة شكل ( رقم - 2 ) .

ثبت على جداري القناة سكة معدنية بواسطة لولب يمكن بواسطتها وضع سكة بصورة افقية ومضبوطة . يتحرك على السكة أفقياً حاملان وضع على احدهما مقياس الأعماق لقياس عمق الماء وعلى الثاني ثبتت انبوبة برانتل لقياس شحنة السرعة في القناة ويلاحظ انه من الممكن تحريك الحامل افقياً على طول القناة بينما يتحرك المقياس وانبوب قياس السرعة عمودياً وكذلك افقياً باتجاه عرض القناة . في نهاية القناة وضعت بوابة المؤخرة وبواسطتها يمكن الحصول على جريان منتظم في القناة اثناء التجربة .

يصل الماء الى مدخل القناة بعد التخلص من الطاقة الزائدة والاضطراب الحاصل من جراء التدفق بانشاء بعض المعوقات الهيدروليكية او عن طريق ضخ الماء الى القناة من مستوى اوطأ من مستوى القناة او باستعمال ناشر للتخلص من الطاقة الزائدة شكل (رقم - 3) وكذلك ينشأ على مدخل القناة مشبك للتخلص من الاضطراب الحاصل من تدفق الماء كما توضع الواح معدنية او خشبية باتجاه الجريان لضمان جريان الماء بصورة موازية لجدران القناة اثناء التجربة .

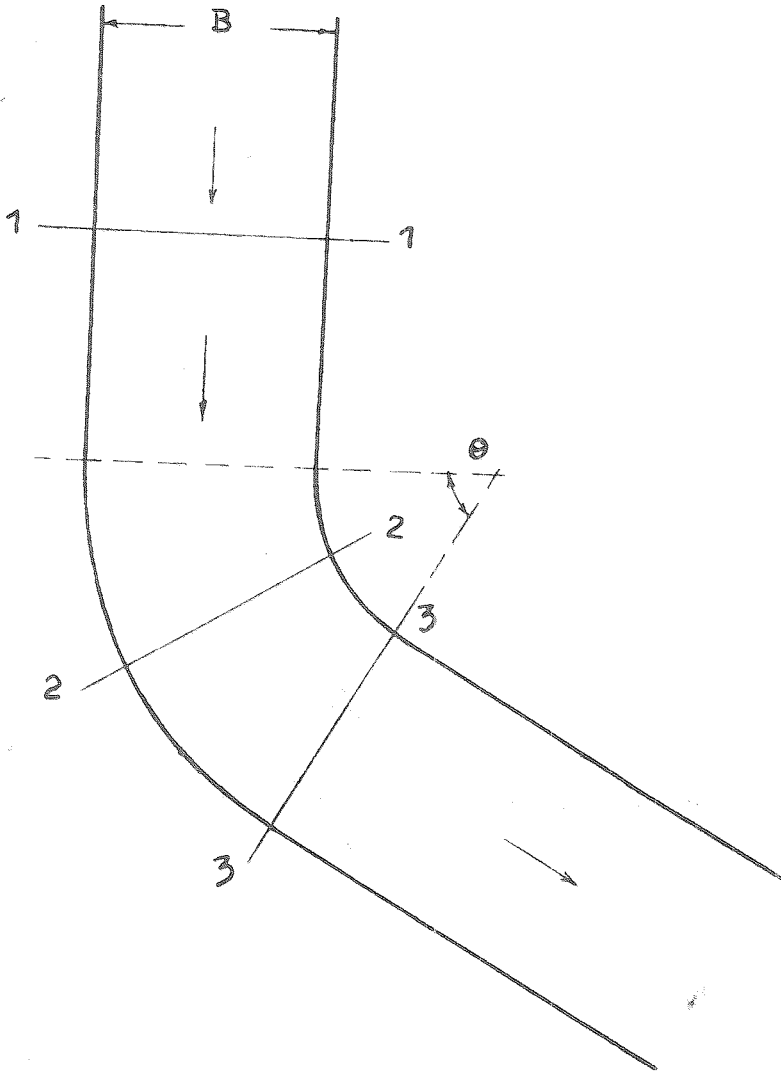
ملاحظة

( يمكن استعمال ابي قناة اخرى تختلف عن القناة المستعملة في هذه التجربة على شرط توفر نفس ظروف الجريان في القناة اعلاه ) .

### 3.9.4 خطوات العمل

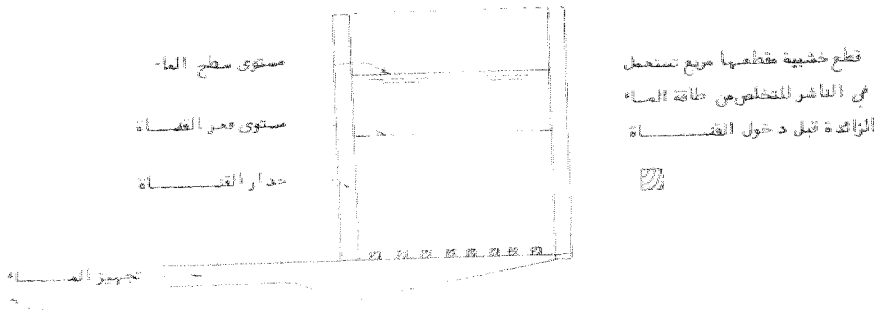
١ - يفتح صمام السيطرة ويسمح للماء بالجريان في القناة وتنظم بوابة المؤخرة للحصول على جريان منتظم في القناة ( يقاس عمق الماء في منتصف القناة وفي عدة مقاطع ويجب أن يكون العمق متساوياً ) .





شكل (رقم-2)

مخطط لقناة مستطيلة المقطع مقوسة بزاوية معينة ثبت عليها ثلاث مقاطع لقياس السرعة



شكل ( رقم - 3 )

مقطع المدخل القناة يوضح كيفية تجهيز القناة بالماء والتخلص من الطاقة الزائدة بواسطة الناشر الهيدروليكي وكذلك جعل قعر القناة في مستوى اعلى من مستوى تجهيز الماء .

2- ثبت المقاطع الثلاث التالية على القناة .شكل (رقم - 2 )

المقطع الاول : في مقدمة القناة في الجزء المستقيم منها

المقطع الثاني : في منتصف القوس

المقطع الثالث : في نهاية القوس مباشرة .

3- تقاس السرعة كما يلي :-

يقسم كل مقطع إلى عدة أقسام ( ثلاثة على الأقل ) شكل (رقم - 4) ، تقاس السرعة في منتصف كل قسم في عدة نقاط في الاتجاه العمودي ابتداءً من قعر القناة ، على أن تكون النقطة الأخيرة تحت سطح الماء مباشرة وذلك باستعمال انبوب برانتل وفي كل مرة يسجل الفرق في مقياس الشحنة . بعد أكمال المقطع الاول تكمل بقية المقاطع .

4- يغير التصريف وتعاد الخطوتين ( 2 ، 3 ) إذا اريد الحصول على دراسة مقارنة

### 3.9.5 الحسابات والنتائج

1- تحسب السرعة من المعادلة رقم(1)

2- يرسم تغير السرعة مع عمق الماء في كل قسم من أقسام المقاطع الثلاث على مقياس بياني اعتيادي ويحسب معدل السرعة لكل قسم من المنحني الناتج

$$\text{معدل السرعة} = \frac{\text{مساحة الجزء المحصور بالمنحني}}{\text{عمق الماء}}$$

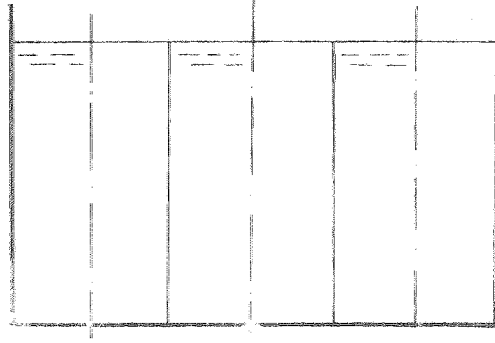
3- يرسم تغير معدل السرعة في اتجاه عرض القناة لكل مقطع من المقاطع الثلاث على مقياس لوغاريتمي .

### 3.9.5 اسئلة للمناقشة

1- كيف يختلف توزيع السرعة من مقطع إلى آخر في القناة ؟

2- ما العلاقة التي يمكن وضعها بين السرعة ونصف قطر قوس القناة لتوزيع السرعة خلال القوس . وضح العلاقة بالرجوع إلى المنحني السابق في الخطوة ( 3 ) ؟

3- هل يمكن إيجاد معدل السرعة في كل قسم من أقسام المقطع بطريقة أخرى بدون رسم منحني السرعة ؟



شكل ( رقم - 4 )  
متقطع في قناة مفتوحة مقسم الى ثلاثة اقسام وهمية يجري قياس سرعة الجريان في  
منتصف كل قسم ابتداء من القعر وحتى سطح الماء .

(1) قياس السرعة في المفتح 1-1 في مستديم القنطرة

(2) قياس السرعة في المفتح  
النازل من المفتح

قياس السرعة في المفتح		قياس السرعة في المفتح		قياس السرعة في المفتح		قياس السرعة في المفتح		عمق القياس m	1 2 . . . n
$V_{av}$ m/sec	$V$ m/sec	$V_{av}$ m/sec	$V$ m/sec	$V_{av}$ m/sec	$V$ m/sec	$V_{av}$ m/sec	$V$ m/sec		
								0.005	1
								0.1 Y	2
								0.95 Y	n

عرض القنطرة = B ، عمق الماء في القنطرة = Y ، درجة حرارة الماء =

(1) يتحصل نفس الجهد بلهيه المفاطح المستتس على القنطرة  
(2) في حالة قياس السرعة في امكن من ثلاثة اقسام كل مفتح فتمظهر حصل اخيرا لتسجيل القياسات

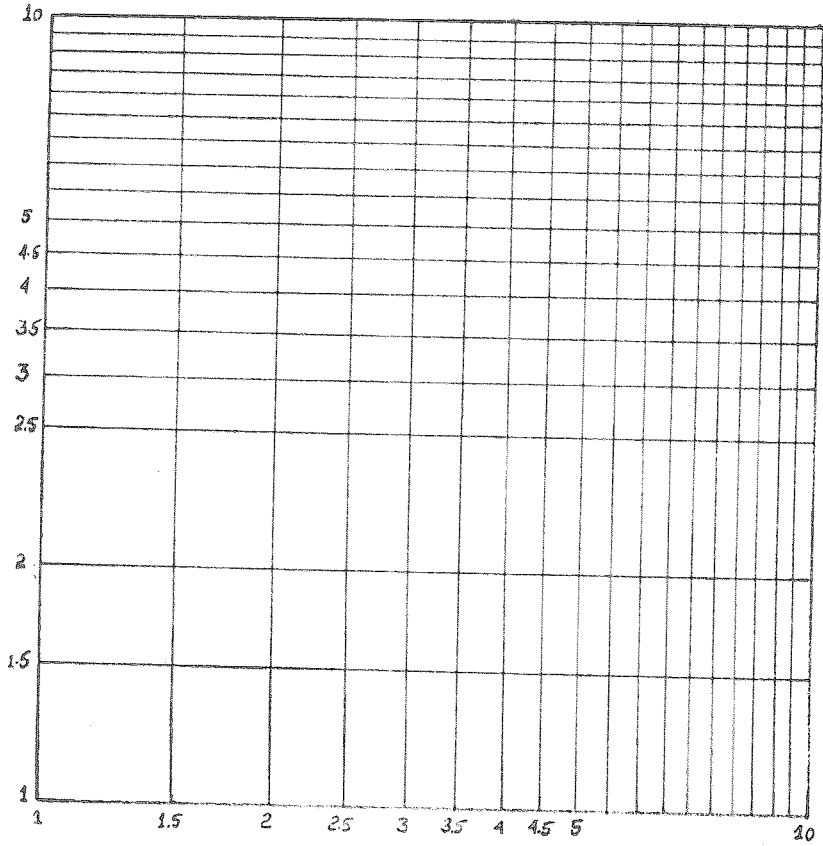


# الفصل الرابع

الملحقات والجداول

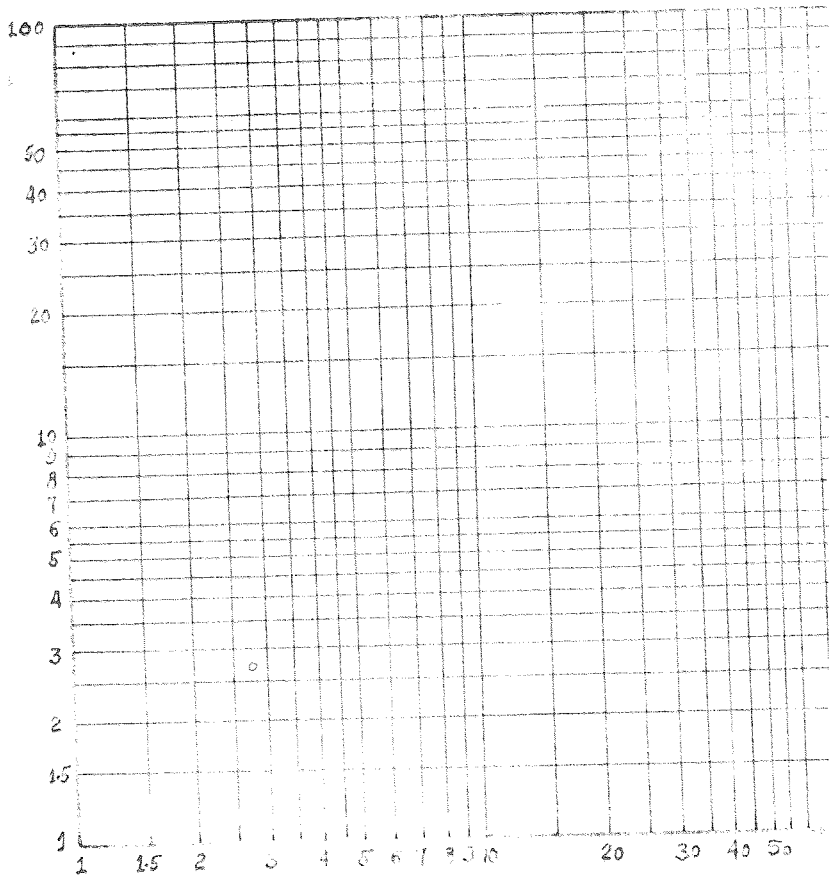






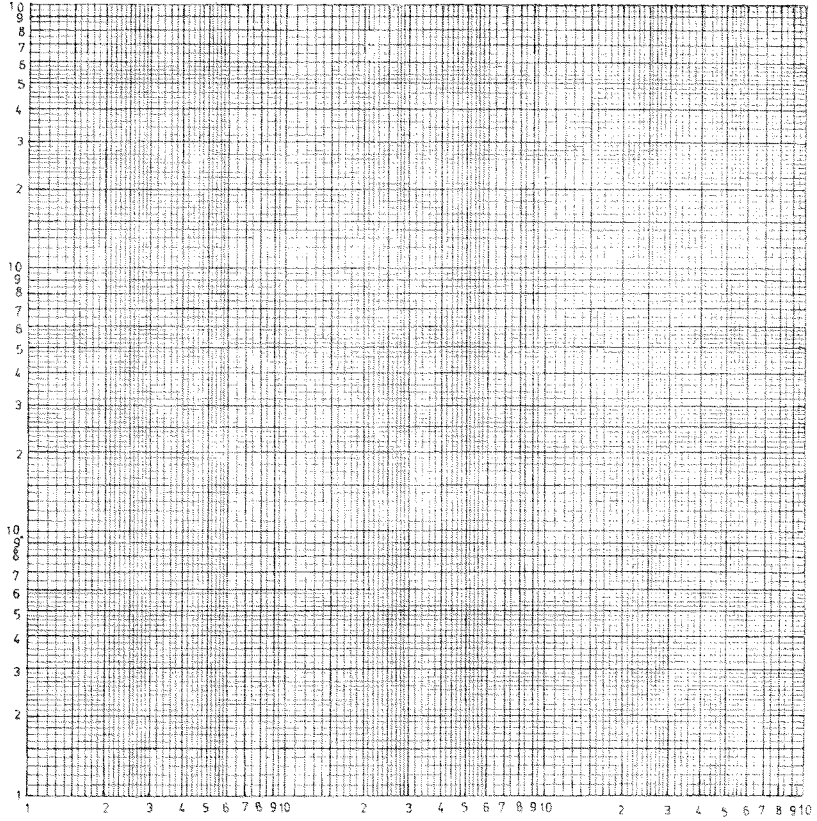
تخطيط بياني لوغاريتمي 1x1 دورة





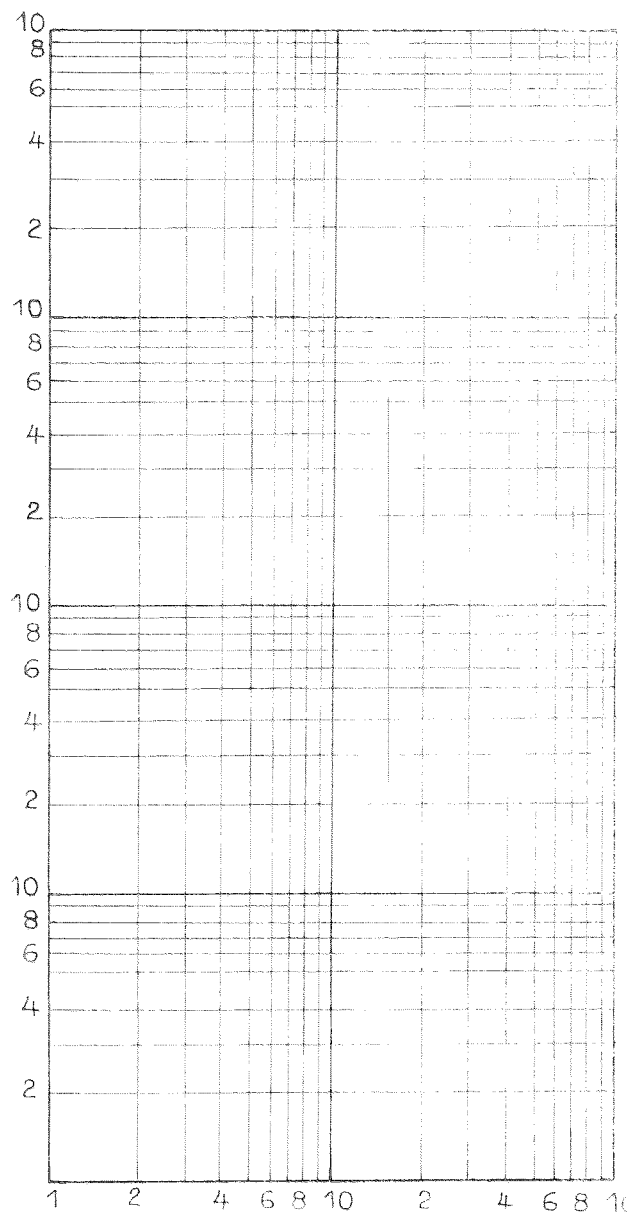
تخطيط بياني لوغاريتمي  $2 \times 2$  دورة





تخطيط بياني لوغاريتمي  $3 \times 3$  دورة

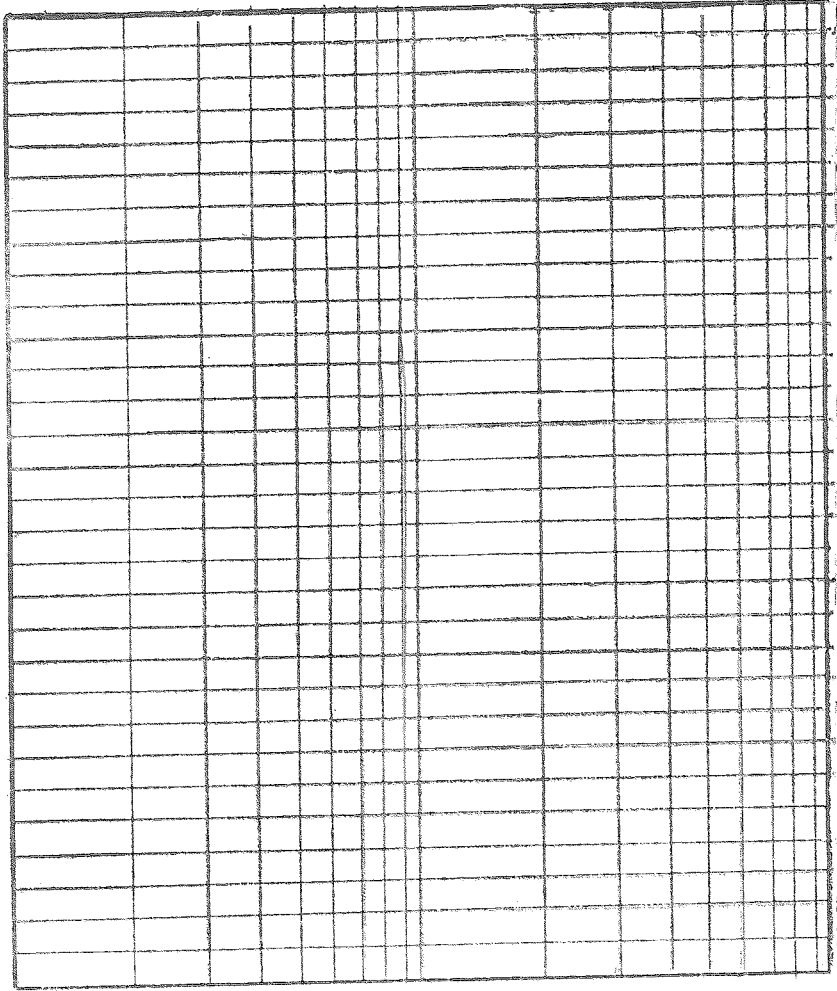




تخطيط بياني لوغاريتمي 4x2 دوره







تخطيط بياني نصف لوغاريتمي  $2 \times 2$  دورة



4.2 جدول تغير اللزوجة الكينمائية للماء مع تغير درجات الحرارة

درجة حرارة الماء (درجة مئوية) اللزوجة الكينمائية للماء  $10^6$  (m<sup>2</sup>/sec)

1.787	0
1.510	5
1.473	6
1.428	7
1.385	8
1.346	9
1.308	10
1.271	11
1.237	12
1.204	13
1.172	14
1.141	15
1.112	16
1.084	17
1.057	18
1.032	19
1.007	20
0.983	21
0.960	22
0.936	23
0.917	24
0.897	25
0.877	26
0.858	27
0.840	28
0.821	29
0.804	30
0.788	31

0.772	32
0.756	33
0.741	34
0.727	35
0.713	36
0.700	37
0.686	38
0.673	39
0.661	40
0.554	50
0.475	60
0.414	70
0.366	80
0.327	90
0.295	100

### 4.3 جدول الوحدات القياسية وتحولاتها

متر	0.3048	قدم
ستمتتر	2.54	إنج
كيلو متر	1.6093	ميل
متر مربع	0.0929	قدم المربع
لتر	28.32	قدم المكعب
متر مكعب	0.02832	قدم المكعب
غالون (أمريكي)	7.4805	قدم المكعب
كيلو غرام	0.454	باوند
كيلو غرام	14.5939	سلك
كيلو غرام/متر	1.488	اوند/قدم
كيلوغرام/متر مربع	4.88243	اوند/قدم مربع
كيلو غرام/متر مكعب	16.0185	اوند/قدم مكعب
متر / ثانية	0.3048	قدم/ ثانية
كيلو متر/ ساعة	1.609	ميل/ ساعة
متر/ مربع الثانية	0.3048	قدم/ مربع الثانية
كيلو غرام/ ثانية	$1.25998 \times 10^{-4}$	قدم/ ساعة
نيوتن	$10^{-5}$	داين
باوند	2000	طن
كيلو نيوتن	0.964	طن
نيوتن	4.448	باوند
نيوتن	9.806	كيلوغرام
نيوتن/متر	14.5936	باوند/قدم
نيوتن/متر مربع	133.322	مليمتر زئبق
نيوتن/متر مربع	249.089	أنج ماء
نيوتن/متر مربع	3386.39	أنج زئبق
نيوتن/متر مربع	$10^5$	البار
نيوتن/متر مكعب	157.088	باوند/قدم مكعب
واط	735.499	القدرة الحصانية (بالنظام المترى)
كيلو غرام/متر. ثانية	1.48816	باوند/قدم. ثانية

نيوتن، ثانية/ متر مربع  
متر مربع / ثانية  
درجة  
زاوية قطرية  
زاوية قطرية/ ثانية

1.00  
0.0929  
57.2958  
0.0174533  
0.10472

كيلو غرام/ متر. ثانية  
قدم مربع / ثانية  
الزاوية القطرية  
الدرجة  
دورة/ دقيقة

## جدول الرموز ووحداتها

الوحدة	تعريفه	
$m^2$	مساحة مقطع القناة	
$m^2$	مساحة مقطع دائري	
$m^2$	مساحة المقطع الاقلص	
$m^2$	مساحة مقطع الفتحة الحادة	
$m/sec^2$	التعجيل	
$m$	عرض القناة ، عرض العوامة	
$m$	عرض التلمة المستطيلة لسد الغاطس	
	معامل	C
	معامل التخصر	C
	معامل التصريف	C
	معامل السرعة	C
$m$	قطر الانبوب	I
$m$	قطر الميسم	d
$m$	قطر المقطع الاقلص	d
$m$	قطر الفتحة الحادة	d
$N$	القوة ، رقم فروند	I
$N$	القوة الحقيقية (العمالية)	F
$N$	القوة النظرية	F
	مركز الثقل	C
$m/sec^2$	التعجيل الارضي	g
$m$	الشحنة الكلية	I
$m$	الشحنة الكلية في مخرج المنفة	F
$m$	الشحنة الكلية في مدخل المنفة	I
$m$	الشحنة البيزومترية	
$m$	مقدار الضياع في الشحنة	
$m$	شحنة ضغط الفراغ المسوح به للسائل	
$m^4$	عزم المساحة	

الوحدة	تعريفه	الرمز
	الانحدار الهيدروليكي	i
	قيمة ثابتة	K
	معامل	$K_L$
m	الطول	L
N.m	العزم	M
N. sec <sup>2</sup> /m	الكتلة	m
	وحدة القدرة	$N_1$
	نسبة الوزن الكلي للعوامة إلى وزن ثقل الموازنة	$N_n$
m.h.p.	القدرة الناتجة	$N_t$
m.h.p.	قدرة الماء المتدفق داخل المنفة	$N_w$
m.h.p.	انطلاق المنفة ، معامل ماننك	n
r.p.m.	وحدة سرعة الانطلاق للمنفة	$n_1$
r.p.m.	قراءة التاكوميتر	$n_t$
m	المحيط المبلول	P
N/m <sup>2</sup>	الضغط	[P
N/m <sup>2</sup>	شحنة ضغط الفراغ	$p_c$
m <sup>3</sup> /sec	التصريف	Q
m <sup>3</sup> /sec	وحدة التصريف	$Q_1$
m <sup>3</sup> /sec	التصريف الحقيقي	$Q_a$
m <sup>3</sup> /sec	التصريف النظري	$Q_{th}$
m <sup>2</sup> /sec	التصريف لوحدة العرض	q
m	نصف القطر الهيدروليكي	R
	رقم ريتولندز	Re
m	نصف قطر	r
	انحدار القناة	S
	الوزن النوعي للسانل	$S_o$
	الوزن النوعي للماء	$S_w$
N.m	العزم ، شغل	T



الوحدة	تريفه	الرمز
sec.	الزمن	t
m/sec	السرعة	V
m/sec	السرعة الحقيقية	V <sub>a</sub>
m/sec	متوسط السرعة في القناة	V <sub>av.</sub>
m/sec	السرعة النظرية	V <sub>th</sub>
m <sup>3</sup>	الحجم	Vol
N	الوزن الكلي	W
N	وزن ثقل الموازنة	W <sub>o</sub>
N.sec	الزخم	W <sub>s</sub>
N	وزن الثقل المتحرك	W <sub>t</sub>
rad/sec.	السرعة الزاوية	w
m	المسافة الافقية	X
m	ارتفاع الماء في القناة	Y
m	المسافة العمودية	y
m	بعد مركز الضغط عن أي محور	y <sub>p</sub>
m	الشحنة الناتجة من الارتفاع	Z
N/m <sup>3</sup>	كثافة السائل	γ
Kg/m <sup>3</sup>	كثافة كتلة السائل	ρ
degrec	زوايا	θ, β
Kg/m.sec	اللزوجة الدينامكية	μ
m <sup>2</sup> /sec	اللزوجة الكينمائية	ν
	الكفاءة	η

## A

Absolute Pressure	الضغط المطلق
Acceleration	التعجيل
Adjustable Weight	ثقل الموازنة
Angular Velocity	السرعة الزاوية
Approach Channel	قناة الاقتراب
Atmospheric Pressure	الضغط الجوي
Average Velocity	معدل السرعة

## B

Bourdon Gauge	مقياس بوردون
Break	مفرمل
Break Arm	ذراع المفرمل
Buogancy	الطفو

## C

Calibration	معايرة، تصحيح
Canal	قناة
Cavitation	التجويف
Centerifugal Pump	مضخة انبساطية
Center Pressure	مركز الضغط
Channel	قناة
Conjugate Depths	العمقتان المتعاقبان ( العمق السابق و العمق اللاحق )
Continuity Equation	معادلة الاستمرارية
Contraction Coefficient	معامل التخصر
Control Valve	صمام السيطرة
Critical	حرج
Current Meter	مقياس متري
Curve	منحني

## D

Datum	منسوب
Density	الكثافة

Discharge	لتصريف
Down Stream	وغير المجري
Draft Tube	بصرف
Draine Pipe	انبوب التفريغ
Dye	الصبغة
Dynamic Energy	الطاقة الحركية
Dynamic Viscosity	اللزوجة الديناميكية
<b>E</b>	
Efficiency	الكفاءة
Energy	الطاقة
Energy Gradient	تدرج الطاقة
<b>F</b>	
Flange	الشفة
Flat	مسطح
Flat Plate	اللوحه المسطحة
Float	العائمة
Flootation	العوم
Flow	الجريان
Flow Meter	مقياس الجريان
Fluctuation	التراوح
Flume	القناة المفتوحة (المصنوعة)
Force	القوة
Forced Vortex	الدور دور القسرى
Francis Turbine	عنفه فرانسيس
Free Vortex	الدور دور الحر
Friction	الاحتكاك
Froude Number	رقم فرود

## G

Gage ( also Gauge )

المقياس

Gate

البوابة

Gravity Acceleration

التسجيل الارضي

## H

Head

الشحنة

Head Loss

الضياع في الشحنة

Hemispherical Cup

الوعاء النصف كروية

Hook Gage

مقياس خطاف

Horse Power

القدرة الحصانية

Horizontal

أفقي

Hydraulic

الهيدروليكي

Hydraulic Jump

القفزة الهيدروليكية

Hydraulic Radius

نصف القطر الهيدروليكي

Hydraulic Ram

الكبش الهيدروليكي

Hydrostatic Pressure

الضغط الهيدروستاتيكي ( ضغط السكون )

## I

Impact

صدم ، تصادم

Inlet

المدخل

Inertia Force

قوة القصور الذاتي

## J

Jet

الينق

Jockey Weight

الثقل المتحرك ، ثقل الازاحة

## K

Kinetics

الكينتيك ( علم القوة المحركة )

Kinetic Energy

الطاقة الكامنة

Kinematics	الكينماتيك ( علم الحركة المجردة )
Kinematic Viscosity	اللزوجة الكينماتية
<b>L</b>	
Laminar	صفحائي ، طبقي
Logarithmic Scale	المقياس اللوغاريتمي
Loss	الضياع
<b>M</b>	
Manning Coefficient	معامل ماننك
Mass	الكتلة
Mean Velocity	متوسط السرعة
Measuring Tank	حوض القياس
Mechanical Work	الشغل الميكانيكي
Meta Center	المركز البيني ( اجسم طاف )
Metric System	النظام المتري
Mild Slope	انحدار طفيف
Moment	العزم
<b>O</b>	
Open Channels	القنوات المفتوحة
Orifice Meter	مقياس الفتحة الحادة
Out let	المخرج
Over Flow	الطلفح
<b>P</b>	
Parabolla	قطع مكافئ
Parshall Flume	قناة بارشل
Pelton Turbine	عنفه بيلتون
Piezometer	انبوب بيزومتر ( ميز الضغط )

Piezometric Head	الشحنة اليزومترية
pipe	أنبوب
Pitot Tube	أنبوب بيتوت
Pontoon	المروامة
Prandtl Tube	أنبوب برانتل
Pressure	الضغط
Pressure Energy	طاقة الضغط
Pressure Gauge	مقياس الضغط
Pressure Head	شحنة الضغط

## R

Rectangular Wier	سد غاطس بثلاثة مستطيلة
Reynolds Number	رقم رينولدز
Rotation	الدوران
Roughness Coefficient	معامل الخشونة

## S

Screen	دريشة
Section	مقطع
Sequent Depth	المسافة اللاحق
Settling Tank	حوض التسيكين
Skin Friction	الاحتكاك السطحي
Sluice Gate	بوابة الكسح
Specific	نوعي
Specific Energy	الطاقة النوعية
Specific Weight	الوزن النوعي
Square Inlet	مدخل متساطح
Stagnation Point	نقطة الركود
Stagnation Pressure	ضغط الركود
Static	ساكن
Static Head	الشحنة الساكنة

Steady	ثابت
Steady Flow	الجريان الثابت
Stream Gauge	قياس التيار
Stream Lines	خطوط الانسياب
Steep Slope	الحداد حاد
Subcritical	تحت الحرج
Sudden Contraction	تقلص فجائي
Sudden Expansion	توسع فجائي
Sump	حوض سنلي
Supercritical	فوق الحرج
Supply	تجهيز
Supply Tank	حوض التجهيز
Supply Valve	صمام التجهيز

## T

Tachometer	التاكوميتر (مقياس لقياس الدورات)
Tangential Velocity	السرعة المماسية
Tank	خزان
Torque	عزم
Total Head	الشحنة الكلية
Tranquil Flow	جريان هادئ
Transition Flow	جريان انتقالي
Turbine	المنفة
Turbulent	مضطرب
Turbulent Flow	جريان مضطرب

## U

Uniform Flow	جريان منتظم
Unit	وحدة
Unit Length	وحدة الطول
Unit Speed	الانطلاق الفياضي (وحدة الانطلاق)

Unit Weight	وحدة الوزن
Up Stream	مقدم الجرى
<b>V</b>	
Vacuum	فراغ
Vane	مروحة
Valve	صمام
Vapour	بخار
Velocity	سرعة
Velocity Coefficient	معامل السرعة
Velocity Gradient	انحدار السرعة
Velocity Head	شحنة السرعة
Velocity Profile	مقطع توزيع السرعة
Vena contracta	المنقطع الاقلص
Vernier	الورنية
Vertical	شاقولي
Ventilation	تهوية
Venturi Flume	قناة فتشورى
Venturi Meter	مقياس فتشورى
V-notch Wier	سد غاطس بثلمة مثلثة
Volume	حجم
Vortex	دردور
<b>W</b>	
Water Meter	مقياس مائي
Wave	موجة
Wetted Perimeter	المحيط المبلول
Weight	وزن
Wheel	دولاب
Wier	سد غاطس
Wier Crest	حافة السد الغاطس



#### 4.6 المصادر

- 1 . Albertson M.L., James R.B. and Daryl B.S. "Fluid Mechanics for Engineers", Prentice Hall, 1960 .
- 2 . Brater E. F. and King H.W. "Handbook of Hydraulics", McGraw-Hill Book Company, Sixth edition, 1976 .
- 3 . Chow V.T. "Open Channel Hydraulics," McGraw-Hill Book Company, 1959 .
- 4 . Israelson O.W. and Hansen V.E. "Irrigation Principles and Practices" John Wiley and Sons, Inc., 1962 .
- 5 . Lal J. "Hydraulic Machines", Metropolitan Book Company Private Ltd., Fifth edition, Delhi-6, 1974 .
- 6 . Markland E. "A First Course in Hydraulics", Tecquipment Limited, Hooton Street, 1973 .
- 7 . Rao Y.V.N. and Hasen Z. "Journal of Experiments in Hydraulics Laboratory", Delhi, New Heights, 1967 .
- 8 . Street V.L. "Fluid Mechanics", McGraw-Hill Book Company, 1951 .
- 9 . Vennard J.K. and Street R.L. "Elementary Fluid Mechanics", John Wiley and Sons, Inc., Fifth edition, 1976 .
10. أحمد شفيق الخطيب «مجم المصطلحات العلمية والفنية والهندسية»  
منشورات مكتبة لبنان، الطبعة، الرابعة 1977
11. منير البلبيكي «المورد» بيروت، الطبعة الثانية ، 1969 .
12. مجلة المجمع العلمي العراقي  
مجلد ( 1970 - 1390 ) 19  
مجلد ( 1970 - 1390 ) 20  
مجلد ( 1971 - 1391 ) 21  
مجلد ( 1973 - 1392 ) 22  
مجلد ( 1973 - 1393 ) 23  
مجلد ( 1974 - 1394 ) 25  
مجلد ( 1967 - 1396 ) 27



## جدول الخطأ والصواب

الصواب	الخطأ	السطر	الصفحة
$dF_X$	$dF$	١٤	٢٨
$h_0$	$h$	٣	٣٠
$F = \frac{W_s}{g} (V_1 - V_2 C_{os\beta})$	$F = W_s (V_1 - V_2 \cos \beta)$	٢٥	٣٦
$=V_0^2 - 19.62S$	$=V^2 - 19.62S$	١٩	٤٠
$(1.5 V_1)$	$(1.5 V)$	١٤	٤١
بياني	بيا	٢٥	٤٦
$a_0$	$d_0$	١٥	٥٣
$a_c$	$d_c$	١٦	٥٣
$h_{EF} = 0$	$HEF = 0$	١٤	٦٣
بالتعويض عن الجزء الأيمن من المعادلة بدلالة	بالتعويض عن الجزء الأيمن من المعادلة	١	٧٢
$C_d = Q / a_2 \sqrt{\frac{2g(h_1 - h_2)}{1 - (\frac{a_2}{a_1})^2}}$	$C_d = a_2 \sqrt{\frac{2g(h_1 - h_2)}{1 - \frac{(a_2)^2}{a_1^2}}}$	٢٣	٧٥
m.h.p	m.p.h	١٤ و ١٣	٨٣
$h_{L_{1-2}} = h_p + \frac{V_1^2}{2g} - \frac{V_2^2}{2g}$ ... (2)	... (2)	٦	٨٧
$[d(6.0 - 7.0) < L]$	$[d(6.0 - 7.0) > L]$	٢١	١٠٠
السدوري	السدوري	١	١٧٧
$a_t = \frac{V^2}{r}$	$a = V^2$	١٠	١٧٩

بیست و

$$H = \frac{w^2 r^2}{g}$$

$$\left( \frac{1}{r^2} \right)$$

p-m

buoyancy

بیوت

$$H = \frac{W^2 r^2}{g}$$

$$\left( \frac{1}{r^2} \right)$$

m.h.p

Buogancy

۱۸۷۴

۹

۲۰

۱۲

۱۳

۱۸۷

۱۸۸

۱۸۸

۲۲۰

۲۲۲

رقم الابداع في المكتبة الوطنية ببغداد ١٠٧٠ لسنة ١٩٧٨



