

رفع الأداء الهيدروليكي لقناة التصريف في عنفة كابلان (سد الفرات)

م. الحسن مطيع عيود⁽¹⁾

د. غسان زيدان⁽²⁾

د. حمزة مكارم⁽³⁾

الملخص

لا يزال البحث جارياً لتطوير منظومات توليد الطاقة النظيفة، خاصةً في مجال أقتية تصريف العنفات المائية التي تعتبر من أهم الأجزاء المستخدمة في رفع كفاءة العنفات وتوليد الكهرباء. تتنوع أشكال أقتية التصريف ما بين القناة المخروطية والمستقيمة والمنحنية، وهذه الأخيرة تعتبر الأهم لدورها الكبير في رفع كفاءة التوربين المائي. تتكون قناة التصريف المنحنية من ثلاثة أجزاء رئيسية هي ناشرة الدخول وكوع الامتصاص وناشرة الخروج. يتعلق مردود هذه القناة بسرعة الجريان عند الخول والخروج بالإضافة لفواقد الجريان الحاصلة عبر القناة ومن خلال الدوامة الإعصارية المتشكلة في مدخلها وعند الكوع. لذلك تم العمل في هذا البحث على عرض العوامل المؤثرة في الأداء الهيدروليكي لهذه القناة وطرق رفعها بالإضافة إلى محاكاتها حاسوبياً باستخدام برنامج **Ansys fluent**.

الكلمات المفتاحية: العنفة المائية – الأداء الهيدروليكي – قناة التصريف

⁽¹⁾مهندس في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية. جامعة دمشق.

⁽²⁾دكتور في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية (المشرف العلمي) جامعة دمشق.

⁽³⁾دكتور في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية (المشرف المشارك) جامعة دمشق.

Raising the hydraulic performance of the draft tube in Kaplan's turbine (Euphrates Dam)

Abstract

Research is still underway to develop systems for developing clean power generation systems, especially in the field of water turbine draft tube, which are considered one of the most important parts used in raising the efficiency of turbines and their generation of electricity.

The shapes of draft tube vary between conical, straight and curved channels, and the last is considered one of the most important for its great role in raising the efficiency of water turbines.

The curved draft tube consists of three main parts which are the inlet diffuser, absorption elbow and exit diffuser

The efficiency of draft tube depends on the velocity of the draft tube on the flow velocity at the inlet and outlet, as well as the flow losses through the draft tube and through the cyclonic vortex formed at its inlet and in the elbow.

Therefore, work has been done in this research to present the factors affecting the hydraulic performance of the draft tube and methods of increasing it, in addition to computer simulations using Ansys fluent program.

Key words: water turbine - hydraulic performance - draft tube.

أولاً-المقدمة:

إن منسوب الماء في الخزان العلوي الذي يحجزه السد خلفه حوالي [m]304 فوق سطح البحر وتبلغ غزارة الماء أثناء التصريف عبر العنفة حوالي $[m^3/s] 1.297$ [1] بينما يكون منسوب الماء في الخزان السفلي [m]255 [1] وهو ما يسمى بحوض التهدة وهو منطقة مخصصة لتلقي المياه الخارجة من بئر العنفة وهو مسلح بالحديد وفي وسطه جدار إسناد ينصفه وهو ذو هدفين: [2,3]

1. يمنح متانة ودعم لحوض التهدة.
 2. مهدئ ومخمّد للمياه الساقطة والخارجة.
- وارتفاعه حوالي [m]20، منسوب المياه فيه حوالي 255 [m]. [1]

3-1-1- قناة التصريف:

يُندفع الماء بعد خروجه من الدوالب العامل للعنفة باتجاه قناة التصريف المنحنية حيث ينتقل الجريان بشكل انسيابي من مقطع الخروج في الدوالب العامل إلى مقطع الخروج من قناة التصريف. [3,4,5]

عادةً ما تتوضع قناة التصريف بشكل يسمح للدوالب العامل بأن يكون فوق السطح الحر للسائل في الخزان السفلي على مسافة hs وهو ارتفاع التصريف، لكن بالنسبة لحالنتنا المدروسة في سد الفرات تقوم قناة التصريف بالاستفادة من الطاقة الحركية الضائعة الخارجة من الدوالب العامل كون الدوالب العامل للعنفة يتوضع أخفض من مستوى الماء في الخزان السفلي بحيث يصبح ارتفاع التصريف سالباً، وهذا ما يزيد من مصاعب صيانة هذه العنفات. [3,4,5]

يعتبر تصميم أُنوية التصريف المنحنية معقداً بالمقارنة مع أُنوية التصريف المستقيمة حيث تتألف قناة التصريف المنحنية من ناشرة دخول وكوع وناشرة خروج. [3,4,5]

تعتبر قناة التصريف من أهم أجزاء التوربين المائي نظراً لدورها الكبير في استرجاع جزء كبير من طاقة المياه الحركية الخارجة من الدوالب العامل واستثمارها في رفع كفاءة العنفة، لذا كان لا بد من البحث في كيفية تطوير وتحسين هذا الجزء المهم من أجزاء العنفة سواء من حيث الشكل أو من حيث المادة المصنعة ومعرفة أهم مشاكله ومزاياه ودراسة الآثار السلبية التي تقلل من مردوده والعمل على تلافيها وتجنبها بهدف تحسين أدائه في المستقبل وتطبيق هذه الدراسة رياضياً وتحليلياً على العنفات الموجودة في المحطة الكهرومائية التابعة لسد الفرات الذي يعتبر من أهم المنشآت المائية في القطر.

ثانياً: هدف ومبررات البحث:

استخدام الطرق العددية وخصائص CFD لدراسة وتحليل أثر قناة التصريف على أداء العنفات في المحطة الكهرومائية في سد الفرات من حيث شكلها الهندسي وجريان السائل عبرها، لاقتراح الشكل الهندسي الأمثل لقناة التصريف بهدف زيادة مردود العنفات المائية عند نفس ظروف التشغيل، وضمن مجال الأسس التصميمية المتبعة باستخدام الطرق العددية المختلفة وخصائص CFD.

ثالثاً: مواد وطرق البحث:**3-1-3- توصيف المنظومة الهيدروليكية في المحطة****الكهرومائية لسد الفرات:**

تضم المحطة الكهرومائية ثمان مجموعات عاملة استطاعة المجموعة الواحدة [MW]110 معتمدة في عملها على استثمار اندفاع مياه البحيرة التي يحجزها السد باتجاه العنفات المستخدمة وهي من موديل نمساوي نوع كابلان متوسطة روسية الصنع بقطر [m]6، أما بالنسبة للضاغط فهو حوالي [m]46 والتصريف حوالي $[m^3/s] 297$ و يبلغ الوزن الاجمالي للعنفة تقريباً [ton]1600. [1]

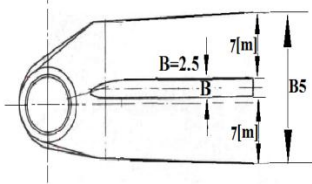
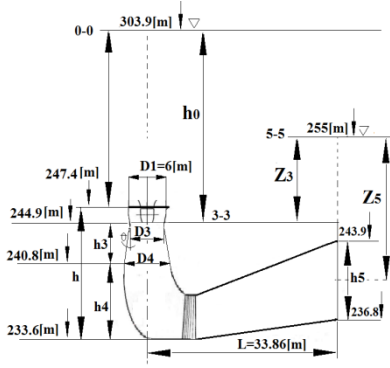
2-3- الدراسة الرياضية والتحليلية للقناة:

1-2-3- المؤشرات العددية والحساب الرياضي:

يبين الشكل (1) المناسيب الجغرافية والأبعاد الهندسية لقناة التصريف المستخدمة في عفة كابلان في سد الفرات، كما يظهر الجدول (1) الرموز والمصطلحات المستخدمة في الدراسة:

الجدول (1) الرموز والمصطلحات والوحدات

المستخدمة والعلاقات الناقمة لها ومجالات عملها:



الشكل (1) مناسيب المياه في قناة التصريف المنحنية

ذات الكوع مع أبعاد القناة في سد الفرات [5]

3-2-1-1- الأبعاد والبارامترات الرئيسية للقناة

[4,6]

الجدول (2) قيم الأبعاد والبارامترات ضمن مجال العمل:

الوحدة	القيمة	الرمز
[m]	6	D1
[m]	5.8	D3
[m]	6.6	D4
°	$\theta = 5.4$ [degree]	θ
[m]	59	h 0
[m]	4.1	h 3
[m]	7.2	h 4
[m]	13.8	h
[m]	33.86	L
[m]	7.06	h 5
[m]	10.1	Z 3
[m]	14.615	Z 5
[m]	16.5	B5
[m]	2.5	B
[m/s ²]	9.8	g
[m ³ /s]	297	Q

الرمز	المصطلح العلمي	الوحدة
D1	قطر الدوالب العامل للتعفة	[m]
D3	قطر الدخول إلى ناشرة الدخول في قناة التصريف وبأخذ قيمه في مجال قريب من القيمة: $D3=0.973 D1$	[m]
D4	قطر مقطع الخروج من ناشرة الدخول ويساوي قطر مقطع الدخول إلى الكوع.	[m]
θ	نصف زاوية مخروط ناشرة الدخول في قناة التصريف وهي في المجال $(5^\circ \div 7^\circ)$	[degree]
h 0	ارتفاع منسوب الخزان العلوي عن مدخل قناة التصريف	[m]
h 3	ارتفاع ناشرة الدخول	[m]
h 4	ارتفاع كوع القناة	[m]
h	ارتفاع القناة	[m]
L	طول القناة الكلي	[m]
h 5	ارتفاع مقطع الخروج من ناشرة الخروج	[m]
Z 3	ارتفاع منسوب الخزان السفلي عن مدخل القناة.	[m]
Z 5	ارتفاع منسوب الخزان السفلي عن منتصف مخرج قناة التصريف	[m]
B5	عرض مقطع مستطيل فتحة الخروج من ناشرة الخروج	[m]
B	عرض الجدار البيئي الحاجز	[m]
η_D	مردود القناة	
$h_{3 \rightarrow 5}$	فواقد القناة	[m]
v_3	سرعة جريان السائل عند مقطع الدخول إلى قناة التصريف	[m/s]
v_5	سرعة جريان السائل عند مقطع الخروج من قناة التصريف	[m/s]
g	تسارع الجاذبية الأرضية	[m/s ²]
P	ضغط السائل	Pa
Q	غزارة الجريان	[m ³ /s]

$$A_3 = \frac{\pi \times D_3^2}{4} = \frac{\pi \times 5.8^2}{4} = 26.4 [m^2] \quad (8)$$

سرعة الجريان v_3 عند مقطع الدخول إلى قناة التصريف

$$v_3 = \frac{Q}{A_3} = \frac{297}{26.4} = 11.2 [m/s] \quad (9)$$

مقطع الخروج من قناة التصريف بشكل مستطيل ومساحة

مقطع الخروج هي:

$$A_5 = (h_5 \cdot B_5) - (h_5 \cdot B) = 98.8 [m^2] \quad (10)$$

$$v_5 = \frac{Q}{A_5} = \frac{297}{98.84} = 3 [m/s] \quad (11)$$

نعوض في العلاقة (7) لإيجاد قيمة الفوائد في القناة:

$$46 = 59 - 10.1 - \left(\frac{3^2}{2 \times 9.81} + \sum h_{3 \rightarrow 5} \right)$$

$$\sum h_{3 \rightarrow 5} = 2.44 [m]$$

2-2-2-3- حساب الضغوط:

وبملاحظة أن قيمة الضغط عند الخروج من الدولاب

العامل P_3 بحسب معادلة برنولي أيضاً:

$$\frac{P_3}{\gamma} + \frac{v_3^2}{2g} - Z_3 = \frac{P_5}{\gamma} + \frac{v_5^2}{2g} - Z_5 + \sum h_{3 \rightarrow 5} \quad (12)$$

$$\frac{P_3}{\gamma} = \frac{P_a}{\gamma} + Z_3 - \left(\frac{v_3^2 - v_5^2}{2g} \right) + \sum h_{3 \rightarrow 5} \quad (13)$$

نعوض:

$$\frac{P_3}{10^3 \times 9.81} = \frac{10^5}{10^3 \times 9.81} + 10.1 - \left(\frac{11.2^2 - 3^2}{2 \times 9.81} \right) + \sum h_{3 \rightarrow 5}$$

$$\frac{P_3}{10^3 \times 9.81} = 14.35 + \sum h_{3 \rightarrow 5}$$

(7) بتعويض قيمة الفوائد المستخرجة من العلاقة

$$\sum h_{3 \rightarrow 5} = 2.44 [m]$$

$$\Rightarrow P_3 = 1.64 [bar]$$

وكما ذكرنا سابقاً في العلاقة (5):

$$\frac{P_5}{\rho \cdot g} = \frac{P_a}{\rho \cdot g} + Z_5 \Rightarrow \frac{P_5}{\rho \cdot g} = \frac{10^5}{10^3 \times 9.81} + 14.615$$

$$\frac{P_5}{\rho \cdot g} = 24.81 [m] \Rightarrow P_5 = 2.43 [bar]$$

2-2-3- تطوير المنظومة ورفع المردود

3-1-2-2-3- حساب الفوائد في القناة:

يتم تحديد الضاغظ الذي تستخدمه العنفة من العلاقة

التالية والذي يساوي حسب المعلومات من إدارة السد حوالي

46[m] بين مستويي القياس (0-0) مستوي الماء في

الخران العلوي و(3-3) مستوي الماء في الخزان السفلي.

$$H = E_0 - E_5 \quad (1)$$

باعتبار مستوي القياس هو السطر الحر للسائل في

الخران السفلي يكون:

$$E_0 = \frac{P_a}{\gamma} + h_0 - Z_3 \quad (2)$$

$$E_3 = \frac{P_3}{\gamma} + \frac{v_3^2}{2g} - Z_3 \quad (3)$$

$$E_5 = \frac{P_5}{\gamma} + \frac{v_5^2}{2g} - Z_5 + \sum h_{3 \rightarrow 5} \quad (4)$$

حيث E_0 : قدرة السائل النوعية عند السطح الحر

للسائل، المقطع (0-0)

E_5 : قدرة السائل النوعية عند مقطع الخروج من قناة

التصريف.

E_3 : قدرة السائل النوعية عند مقطع الدخول إلى قناة

التصريف ومقطع الخروج من الدولاب العامل (3-3)

$$\frac{P_5}{\gamma} = \frac{P_a}{\gamma} + Z_5 \quad (5)$$

بالانتباه إلى أن:

$$v_3 \neq v_5 \quad (6)$$

$$H = E_0 - E_5$$

بتعويض كل من (2) و(4) بـ (1):

$$H = h - Z_3 - \left(\frac{v_5^2}{2g} + \sum h_{3 \rightarrow 5} \right) \quad (7)$$

يتم حساب سرعة الدخول والخروج إلى قناة التصريف

وفق ما يلي:

$$\text{الغزارة } 297 [m^3/s]$$

قطر مقطع الدخول الدائري إلى قناة التصريف 5.8[m]

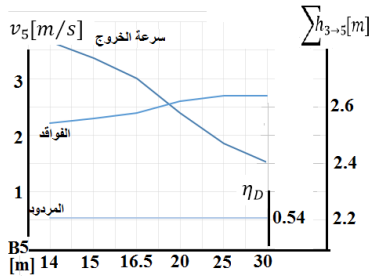
وبالتالي تكون مساحة مقطع الدخول هي

البعد B5 عند نفس الغزارة ومراقبة النتائج وتأثيرها على المردود والفاقد ضمن القناة.

سنعمد لتغيير هندسي في المقطع A5 وذلك بتعديل قيمة B5 حيث يجب أن تبقى قيمة $2.2D1 < B5$. [4,6]
جدول (3) تغير المردود بتغير سرعة الخروج من القناة

بنتيجة تغيير قيمة B5

B5	A5	v5	الفاقد	المردود
14	81.19	3.65	2.21	0.54
15	88.25	3.36	2.3	0.54
16.5	98.84	3.00	2.4	0.54
20	123.55	2.40	2.6	0.54
25	158.85	1.86	2.7	0.54
30	194.15	1.52	2.7	0.54



الشكل (2) تغير سرعة الخروج والفاقد بتعديل B5

يبين الشكل (2) والجدول (3) أن زيادة قيمة البعد B5 سبب زيادة الفاقد وذلك ضمن الحدود المسموح بها أي بحيث يبقى $2.2D1 < B5$ بالإضافة لانخفاض في سرعة الجريان عند الخروج من قناة التصريف ولم يحقق هذا التعديل أي تغيير في المردود.

المقترح الثاني: تخفيض سرعة خروج السائل من قناة التصريف بتخفيض مساحة مقطع الحاجز البيني عن طريق تخفيض قيمة البعد B عند نفس الغزارة ومراقبة النتائج وتأثيرها على المردود والفاقد ضمن القناة.

3-3-2-3 حساب المردود:

يحسب مردود القناة من العلاقة التالية:

$$\eta_D = \frac{\left(\frac{v_3^2}{2g} - \frac{v_5^2}{2g}\right) - \sum h_{3 \rightarrow 5}}{\frac{v_{in}^2}{2g}} \quad (14)$$

في حال اعتبرنا الفاقد مهملة كما هو معمول به من قبل إدارة السد حالياً:

$$\eta_D = \frac{\left(\frac{11.2^2}{2 \times 9.81} - \frac{3^2}{2 \times 9.81}\right) - 0}{\frac{11.2^2}{2 \times 9.81}}$$

$$\eta_D = 0.92$$

أما في حال أخذ قيمة الفاقد بالحسبان

$$\sum h_{3 \rightarrow 5} = 2.44 \text{ [m]}$$

$$\eta_D = \frac{\left(\frac{11.2^2}{2 \times 9.81} - \frac{3^2}{2 \times 9.81}\right) - 2.44}{\frac{11.2^2}{2 \times 9.81}} = 0.56$$

3-3-2-3-4 رفع المردود:

إن رفع مردود القناة يتم من خلال زيادة الفرق

$$\left(\frac{v_3^2}{2g} - \frac{v_5^2}{2g}\right) \text{ وتخفيض الفاقد } \sum h_{3 \rightarrow 5}$$

سنعتمد السويات الجغرافية والارتفاعات الموجودة كوثابت ونعيد الدراسة بتغيير بعض الأبعاد الهندسية لمساحتي مقطع الدخول والخروج كما يلي:

$$\text{زيادة الفرق } \left(\frac{v_3^2}{2g} - \frac{v_5^2}{2g}\right)$$

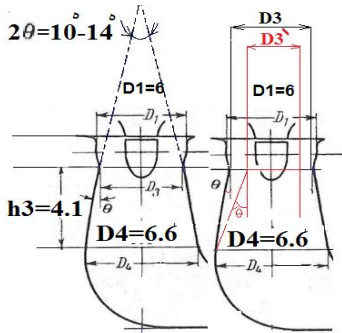
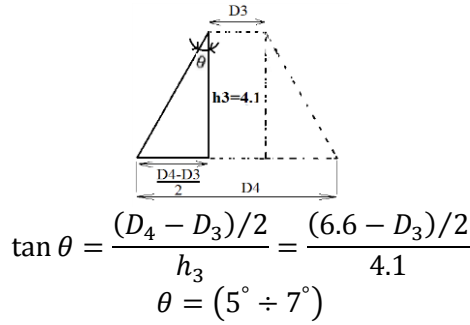
سيتم ذلك من خلال إما تخفيض سرعة الخروج قدر الإمكان مع إبقاء سرعة الدخول ثابتة أو العكس.

3-3-2-3-5 تطوير القناة واقتراح تصميم جديد لها

يساهم في زيادة المردود الهيدروليكي للقناة:

سنعمد لتغيير هندسي في شكل القناة وفق ثلاثة مقترحات:

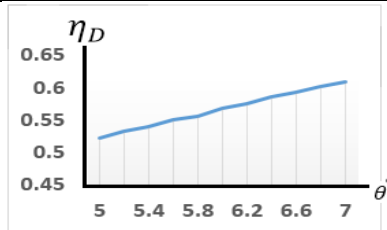
المقترح الأول: تخفيض سرعة خروج السائل من قناة التصريف بزيادة مساحة مقطع الخروج عن طريق زيادة



الشكل (4) تغيير هندسي افتراضي في المقطع A3

جدول (5) تغيير المردود بتغيير سرعة الدخول إلى القناة

المردود	v3	D3	tan Θ	الزاوية
0.521	10.90	5.887	0.087	5
0.532	11.03	5.854	0.091	5.2
0.540	11.12	5.829	0.094	5.4
0.550	11.25	5.796	0.098	5.6
0.555	11.31	5.78	0.1	5.8
0.568	11.47	5.739	0.105	6
0.575	11.57	5.714	0.108	6.2
0.585	11.70	5.682	0.112	6.4
0.592	11.81	5.657	0.115	6.6
0.601	11.95	5.624	0.119	6.8
0.608	12.05	5.6	0.122	7



الشكل (5) تغيير قيمة المردود الهيدروليكي للقناة مع تغير

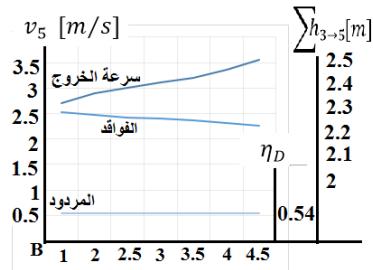
زاوية المخروط θ في المجال $(5^\circ \div 7^\circ)$

جدول (4) تغيير المردود بتغيير سرعة الخروج من القناة

بنتيجة تغيير قيمة B

المردود	الفواقد	v5	A5	B
0.54	2.52	2.71	109.4	1
0.54	2.47	2.90	102.3	2
0.54	2.43	3.00	98.84	2.5
0.54	2.40	3.11	95.3	3
0.54	2.36	3.2	91.7	3.5
0.54	2.32	3.36	88.2	4
0.54	2.27	3.55	84.2	4.5

يبين الشكل (3) والجدول (4) أنه قد ساهم تعديل B (زيادة قيمتها) بتخفيض الفواقد بشكل محدود وبسيط لكن تزامن هذا الأمر مع تزايد في سرعة الجريان عند الخروج من قناة التصريف ولم يحقق تعديل قيمة B أي تغيير في المردود وبالتالي فهو تعديل مرفوض.



الشكل (3) تغيير هندسي افتراضي في المقطع A5 وذلك

بتعديل قيمة عرض الحاجز البيني B [4,6]

المقترح الثالث: زيادة سرعة دخول السائل إلى قناة التصريف بتخفيض مساحة مقطع الدخول عن طريق تخفيض قيمة البعد D3 عند نفس الغزارة ومراقبة النتائج وتأثيرها على المردود والفواقد ضمن القناة.

سنقوم بدراسة الأثر الرياضي لتغيير D_3 حيث ان ذلك يتعلق بالزاوية Θ (نصف زاوية انفراج مخروط المدخل إلى القناة والتي تساوي في حالة سد الفرات كما تمت الإشارة سابقاً $\Theta=5.4[\text{degree}]$) فكلما ازدادت Θ ازدادت قيمة D_3 . [4,6] وهذا ما بينه كل من الجدول (5) والشكل (5):

حيث:

3-تعريف أو تحديد الظاهرة الفيزيائية للمشكلة: يتم اختيار النموذج الرياضي المناسب للحل (جريان موائع، انتقال حرارة، تفاعلات كيميائية، وغيرها)
4-تعريف خواص المادة تحت الدراسة حتى يتم تضمينها في النموذج الرياضي للحل.

5-تعريف الشروط الحدية: وهي الحدود المحيطة بالظاهرة المدروسة، والتي يكون عندها مدخل الجريان أو مخرجه أو غير ذلك من الحدود.

6-اختيار طرق الحل والتقريب والتحكم فيه: وهذه الاخيرة متعلقة بطرق وأساليب الحل العددي ويعتمد اختيارها على طبيعة المشكلة ومدى تعقيدها.

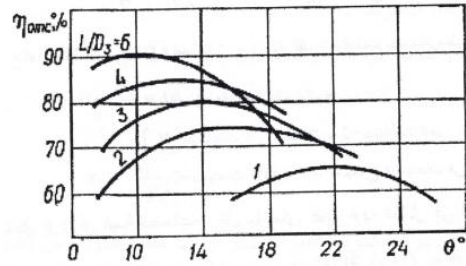
3-3-1-2-مرحلة المعالجة: [8,7]

وهي المرحلة التي يتم فيها الوصول لحل المشكلة، وتتلخص في تقطيع المعادلات النازمة للجريان لجميع نقاط الحجم التحكمي، بعدها يتم تحويل هذه المعادلات إلى منظومة من المعادلات الجبرية، يتم حلها بصورة تكرارية، حيث يتم تحديد عدد معين للتكرار يتوقف المعالج عند الوصول إليه، مع كل تكرار يتم حساب قيم لخواص المائع عند كل نقطة ويتم تحديد سماحية لدقة الحل، وهي عبارة عن نسبة خطأ تحسب بين كل تكرار وآخر، والوصول لهذه النسبة يكون علامة الوصول للحل المرتقب وهذا ما يعرف بتقارب الحل.

3-3-1-3-مرحلة ما بعد المعالجة: [8,7]

هي المرحلة التي يتم فيها عرض وتحليل النتائج بعد استلامها من المعالج وهذه المرحلة تحتوي على عرض مقدار واتجاه خطوط الجريان مع عرض توزيع بعض الكميات القياسية اللابعدية مثل الضغط والكثافة ودرجة الحرارة، صناعة صور متحركة، مخططات بيانية توضح تغيرات الخواص، حسابات عددية لبعض المقادير.

وبالمقارنة مع المنحنيات المدروسة في المراجع يتبين أننا حصلنا على منحنى مشابه تماماً حيث يظهر تماماً تزايد المردود الهيدروليكي مع ازدياد زاوية المخروط في المجال بين الزاويتين ($5^\circ \div 7^\circ$) وعند $L/D_3=6$ [4]



الشكل (6) شكل مرجعي يبين تغير المردود الهيدروليكي للقناة مع تغير زاوية المخروط θ في المجال [3,4] [5÷30]

3-3-الدراسة الحاسوبية للقناة

عبر برنامج ANSYS:

3-3-1-المنهجية المتبعة في

ديناميك الموائع الحاسوبي:

تقوم المنهجية على المرور في ثلاث مراحل أساسية: [7]

3-3-1-1-3-مرحلة ما قبل المعالجة: [7]

وهي المرحلة التي يتم فيها تعريف جميع المدخلات المتعلقة بالمشكلة المعينة إلى البرنامج بواسطة أدوات ونوافذ الإدخال ثم تحويل هذه المدخلات إلى الصورة التي تلائم المعالج وهذه المرحلة تتضمن:

1-رسم المجسم أو المجال الحاسوبي ضمن بيئة برنامج النمذجة.

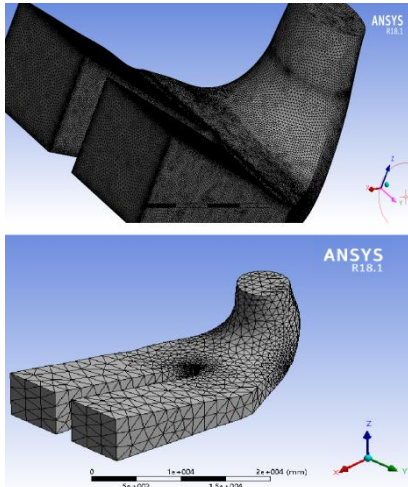
2-إنشاء الشبكة: Meshing وهي عملية تقسيم المجال إلى نقاط أو خلايا، كل خلية تُمثل بمعادلة جبرية يتم حلها في النقطة المعينة ودقة النتائج تعتمد أساساً على الشبكة المنشأة فكلما زاد عدد خلايا الشبكة يعني ذلك الحل في نقاط أكثر وبالتالي زيادة دقة الحل لكن يكون ذلك على حساب زمن الحل وقدرة المعالج والعكس بالعكس.

الجدول (7) المعلومات الأساسية الخاصة بالشبكة

عدد العقد	عدد العناصر	نوع العنصر
496327	1507186	رباعي السطوح Tetrahedral

حيث قمنا بزيادة عدد الخلايا في منطقة مخروط أنبوب التصريف لأهمية هذه المنطقة وتأثيرها الكبير على مشكلة البحث بالإضافة للحواف ومنطقتي المخرج والمدخل والكوع.

اخترنا عدد الحواف والسطوح المدروسة بعد تحديدها بـ 27 حافة، وتم اختيار 200 عنصر لكل حافة بغية كثافة العناصر عند الحواف وفي باقي الأسطح 35 عنصر ويظهر الشكل النعومة الواضحة بنتيجة تكثيف عدد الخلايا في المناطق المحددة أعلاه، كما يظهر الفرق بين الشبكة المولدة أوتوماتيكياً والتي تحتوي على عدد عناصر وعقد قليل نسبياً وبين الشبكة التي تم إعدادها لمراعاة دقة الحل.



الشكل (8) الشكل المعالج عبر برنامج ANSYS

تم اختيار الدقة التي ينتهي عندها الحل بالقيمة 1×10^{-6} أما عدد مرات تكرار الحل فقد تم تحديدها بالقيمة 1000 حيث أنه إذا تم الوصول للدقة المطلوبة يتوقف الحل عندها، أما في حال عدم الوصول إلى هذه الدقة فإن الحل يستمر بالتكرار حتى 1000 مرة بحيث نضمن الحصول على أدق النتائج، كما يظهر الشكل (8)

3-3-2- منهجية النمذجة: [8,7]

سوف نقوم بدراسة القناة وفق المدخلات التالية:

3-3-2-1- المواصفات التصميمية للقناة

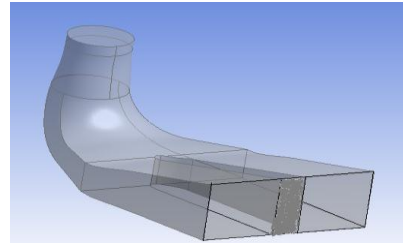
المستخدمة: [1,6]

جدول (6) البارامترات الأساسية لقناة التصريف

46	ضغوط العنفة m
297	التدفق الاسمي m^3/s
125	عد الدورات rpm

يوضح الشكل (7) الشكل المعالج عبر برنامج

ANSYS المكونات الثلاثة الرئيسية للقناة

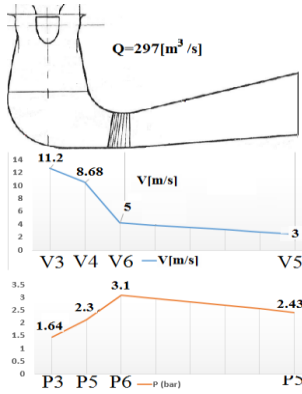


الشكل (7) الشكل المعالج عبر برنامج ANSYS

3-3-2-2- الشبكة the mesh: [7]

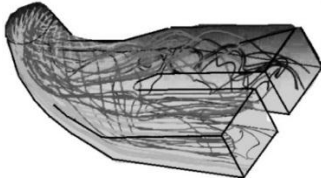
إن جودة عملية تقسيم الجسم إلى خلايا أو حجوم منتهية في الصغر تؤثر بشكل كبير على صحة النتائج المستخلصة، وللحصول على نتائج جيدة يتوجب علينا أن نزيد عدد الخلايا في المناطق الحرجة أو المناطق التي لها اشكال هندسية معقدة والمناطق التي يكون بها التدرج في خواص الجريان كبيرة مثل قاع الكوع والحواف حيث أن العدد القليل من الخلايا قد لا يساعدنا على الحصول على النتائج المرجوة من الدراسة، علماً أن عدد الخلايا الكبير يؤدي إلى زيادة الوقت الحسابي لذلك في المناطق التي لا تؤثر بشكل كبير على خواص الجريان سوف يكون عدد الخلايا قليل قياساً إلى المناطق التي تحتاج عدد خلايا كبير، بما ينسجم مع التصميم والمجال الحسابي المعقد للقناة ومع قدرة الحاسب على المعالجة، وفقاً للجدول (7):

في ناشرة الخروج، كذلك الأمر بالنسبة لسرعة جريان السائل حيث أنها تكون أعلى ما يمكن أثناء الدخول إلى قناة تصريف لتتباطأ تدريجياً وتخفض الطاقة الحركية أثناء المرور في قناة التصريف لتقوم القناة بالاستفادة من الطاقة الضائعة الخارجة من الدوالب العامل لرفع المردود وهذا ما يظهر في الشكل (10).



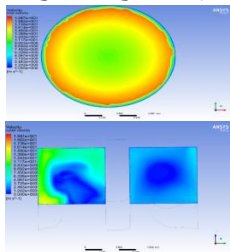
الشكل (10) تغيرات السرعة والضغط في القناة.

يبين الشكل 11 فيوضح لنا متجهات السرعة وخطوط التيار ضمن أنبوب التصريف، حيث لا يتبين وجود مناطق ذات جريان عكسي ضمن الأنبوب.



الشكل (11) خطوط التيار ضمن أنبوب التصريف

أيضاً يتبين تغيرات السرعة عند المدخل والمخرج من القناة في الشكل (12) المعالج ببرنامج Ansys fluent



الشكل (12) تغيرات السرعة والضغط عند مدخل ومخرج القناة.

والجدول (7) عدد الخلايا الكبير في المناطق الأكثر أهمية ومدى نعومة الحواف وعدد الخلايا.

3-2-3-3- الشروط الحدية:

تم تحديد قيم الشروط الحدية من كثافة السائل وحرارته بالإضافة لتحديد قيم التدفق كشرط حدي عند المدخل وقيم الضغط كشرط حدي عند المخرج باعتبارها من أكثر الطرق شيوعاً في وضع الشروط الحدية عند نمذجة الآلات الهيدروليكي

المائع المستخدم: الماء، بخار الماء عند درجة حرارة

$$\rho = 0.997 [kg/m^3] \text{ ، } \text{C } 25 \text{ كثافة الماء:}$$

$$g = 9.81 [m/s^2] \text{ تسارع الجاذبية الارضية:}$$

$$v_3 = 11.2 [m/s] \text{ سرعة الدخول إلى القناة}$$

ضغط الخروج من القناة

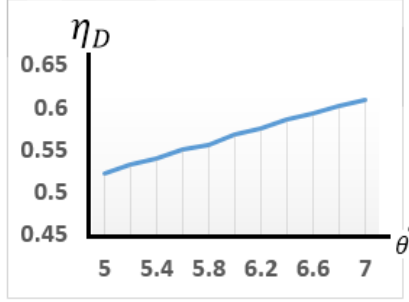
$$P_5 = 2.43 [bar]$$

3-2-3-4- نتائج النمذجة:

يمر الماء ضمن الجزء المخروطي وضمن الناشر حيث إن قيمة الضغط تزداد على حساب النقصان في الطاقة الحركية للجريان، أما بالنسبة للفائض من الطاقة الحركية للجريان فقد تم تحويل الجزء الأكبر منها ضمن أنبوب التصريف إلى طاقة ضغط ستاتيكي كما أن نسبة التحويل هذه تحدد الأداء الهيدروليكي للأنبوب.

من الملاحظ أنه لا يوجد أي مناطق تحتوي على قيمة ضغط تخلخلي كما لا يوجد أي اضطراب في الجريان أو جريان عكسي في مركز أنبوب التصريف وبالتالي يمكن القول أن المنطقة الشبه ساكنة غير موجودة بناتاً في مركز مخروط أنبوب التصريف عند ظروف التشغيل المثلى للعنفة.

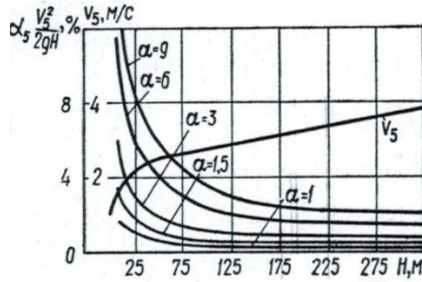
إن توزع قيم الضغط الستاتيكي منطقية ضمن أنبوب التصريف حيث من الملاحظ أن الضغط يزداد تدريجياً كلما ابتعدنا عن مدخل الأنبوب باتجاه قاع كوع الامتصاص، ليعود وينخفض تدريجياً أثناء مرور السائل



الشكل (14) تغيرات ضاغط القناة مع تغير سرعة الخروج

$$\text{والقيمة } \frac{v_5^2}{2gH}$$

يظهر الشكل (14) والجدول (8) تغيرات $\frac{v_5^2}{2gH}$ مع تغير الضاغط H ضمن مجال عمل ضاغط عنفة كابلان في سد الفرات حيث يتبين تناقص القيمة $\frac{v_5^2}{2gH}$ بشكل تدريجي مع تزايد قيمة الضاغط وهذا ما يتطابق مع المنحنيات المرجعية الرئيسية لتغير ضاغط القناة مع تغير سرعة الخروج والقيمة $\frac{v_5^2}{2gH}$ [4,3] الموضحة بالشكل (15).



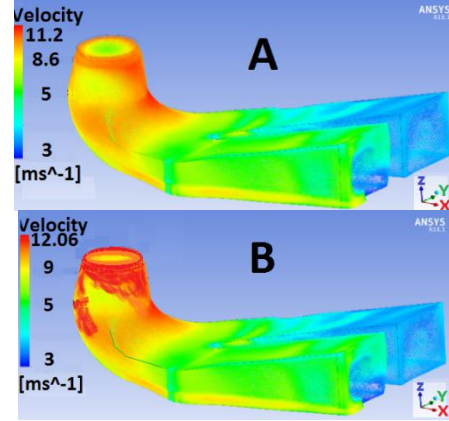
الشكل (15) المنحنيات الرئيسية لتغير ضاغط القناة مع

$$\text{تغير سرعة الخروج والقيمة } \frac{v_5^2}{2gH} \text{ [4,3]}$$

النتائج:

- إن المقترح الجديد لتصميم القناة والذي اعتمد على زيادة زاوية المخروط θ ساهم بزيادة قيمة المردود الهيدروليكي للقناة.
- ساهم زيادة البعد الهندسي B بتخفيض الفواقد بشكل محدود وبسيط لكن لم يحقق أي تغيير في المردود.
- ساهم تعديل البعد الهندسي B5 بتخفيض الفواقد وذلك عند تخفيض قيمة B5 ضمن الحدود المسموح بها أي

يبين الشكل (13) مقارنة ما بين قناتي التصريف الأساسية A والمعالجة وفق المقترح الجديد B على برنامج ANSYS حيث يتبين أنه بعد تعديل مدخل القناة فإن سرعة الجريان ضمن مدخل القناة ازدادت وبالتالي انعكست إيجاباً على زيادة المردود الهيدروليكي للقناة.



الشكل (13) مقارنة توزيع مؤشر سرعة الجريان بين قناتي

التصريف الأساسية A والقناة المقترحة بالتصميم الجديد B

3-3-2-5-دراسة المخططات البيانية وتحليلها:

$$\sum h_{3 \rightarrow 5} = h - \left(H + Z_3 + \frac{v_5^2}{2g} \right)$$

$$h = 59 \text{ m}, Z_3 = 10.1 \text{ m}, v_5 = 3 \text{ m/s}$$

الجدول (8) تغير القيمة $\frac{v_5^2}{2gH}$ مع تغير الضاغط H

H	$\sum h_{3 \rightarrow 5}$	η_D	$\frac{v_5^2}{2gH}$
42	6.441	0	0.010
43	5.441	0.077	0.0106
44	4.441	0.233	0.0104
45	3.441	0.390	0.0101
46	2.441	0.546	0.0099
47	1.441	0.702	0.009
48	0.441	0.859	0.0095

References

المراجع

- 1- أ. بارمود، أ. بيجاليف، تقرير نهائي عن فحص المنشآت المائية لسدي الفرات والبعث لتقييم حالة المنشآت ووضع توصيات لتحسين معايير الأمان، الشركة المساهمة " المركز الهندسي UES الروسي ، معهد هيدروبروجكت ، موسكو - 2004
- 2- غسان زيدان ، الآلات المائية ، منشورات جامعة البعث ، 2007
- 3- عاصم قداح، علي خلوف، فريد أبو حامد ، حكمت الأحمد: آلات الجريان، منشورات جامعة دمشق ، 2010-2011.
- 4- В.В. БАРЛИТ, ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ТУРБИНЫ, КИЕВ, 1977.
- 5- профессора А. А. Морозова ,ТУРБИННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ, Государственное Энергетическое Издательство, Москва, 1958, Ленинград.
- 6- euphrates project in the syrian arab republic ,engineering report, volume 1,drawings, prepared by all-union design, Surveying and Research Institute HYDROPROJECT named after S. J. Zhuk, moscow 1977
- 7- ANSYS Fluent User's Guide, USA,Southpointe,November 2013
- 8- Abbas .A, Kumar.A, Development of draft tube in hydro-turbine: A Review, International Journal of Ambient Energy • October 2015

Received	2021/5/31	إيداع البحث
Accepted for Publ.	2021/9/5	قبول البحث للنشر

9-

بحيث يبقى $2.2D1 < B5$ لكن تزامن هذا الأمر مع تزايد سرعة الجريان عند الخروج من القناة ولم يحقق تعديل قيمة B5 أي تغيير في المردود.

- أظهرت مقارنة المنحنيات للحالة المدروسة مع المنحنيات الرئيسية المأخوذة من المراجع المعتمدة تطابقاً دلياً على صحة الدراسة والفرضيات.

- أظهرت الدراسة الحاسوبية أن توزيع قيم الضغط الستاتيكي منطقية ضمن أنبوب التصريف حيث من الملاحظ أن الضغط يزداد تدريجياً كلما ابتعدنا عن مدخل الأنبوب باتجاه قاع كوع الامتصاص، ليعود وينخفض تدريجياً أثناء مرور السائل في ناشرة الخروج، كذلك الأمر بالنسبة لسرعة جريان السائل حيث أنها تكون أعلى ما يمكن أثناء الدخول إلى قناة تصريف لتتباطأ تدريجياً وتنخفض الطاقة الحركية أثناء المرور في قناة التصريف لتقوم القناة بالاستفادة من الطاقة الضائعة الخارجة من الدوالب العامل لرفع المردود.