الجمهورية العربية السورية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة دمشق

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

قسم هندسة التصميم الميكانيكي

نمذجة وتطوير نظام تشغيل هيدروليكي للسدود المائية بطريقة الهندسة العكسية (دراسة حالة بوابات سد الفرات)

رسالة مقدمة لنيل درجة الماجستير في تصميم وبناء الآلات

إعداد

المهندس يزن محمد الموسى

إشراف

الأستاذ الدكتور عصام قرقوط

العام الدراسي

2024

قرار لجنة الحكم

بناءً على قرار مجلس البحث العلمي والدراسات العليا بجامعة دمشق رقم /797/ م.ب.د تاريخ 2024/12/2 القاضي بتأليف لجنة الحكم على رسالة الماجستير التي أعدها طالب الدراسات العليا المهندس يزن محمد الموسى بعنوان: (نمذجة وتطوير نظام تشغيل هيدروليكي للسدود المائية بطريقة الهندسة العكسية (دراسة حالة بوابات سد الفرات)). والمؤلفة من الأساتذة:

الاسم	الصفة	التوقيع
أ.د عصام قرقوط	عضواً ومشرفاً	
أ.م.د عبد الوهاب الوتار	عضواً	
د. وسيم ديب	عضواً	

أجريت جميع التعديلات اللازمة لهذه الرسالة، وتعد هذه النسخة معتمدة كنسخة نهائية لرسالة الماجستير للمهندس يزن محمد الموسى.

الشكر والتقدير

الشكر لجامعة دمشق وخصوصا كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية _ قسم التصميم الميكانيكي

الشكر لدكتوري المشرف أ.د عصام قرقوط لجهوده و دعمه الدائم

الشكر ل أ.د مهلب داود رئيس قسم التصميم الميكانيكي

الشكر لزميلتي مشرفة مخبر الهيدروليك م. رفاه الجمعة

فهرس المحتويات

قرار لجنة الحكم 2
الشكر وتقدير 3
فهرس المحتويات 4
فهرس الجداول 7
فهرس الأشكال 8
التعابير والقيم الفيزيائية **11**
الملخص 12
الفصل الأول 13
الإطار العام .....
1.1 المقدمة: 14
2.1 مشكلة البحث: 15
3.1 هدف البحث: 16
4.1 أهمية البحث: 16
5.1 حدود البحث 17
6.1 الدراسات المرجعية 17
1.6.1 الدراسة الأولى 17
2.6.1 الدراسة الثانية 19
3.6.1 الدراسة الثالث 20
4.6.1 الدراسة الرابعة 21
5.6.1 دراسات أخرى 22
الفصل الثاني 23

الإطار النظري والمفاهيم .....
1.2 محطات توليد الطاقة الكهربائية في سدود المائية Hydro Power Plant: 24
2.2 مكونات محطة التوليد المائية Components of Hydro-Electric Station: 25
3.2 تصنيف التوربينات (العنفات) المائية: 27
1.3.2 التصنيف بناءً على اتجاه التدفق: 27
2.3.2 التصنيف بناءً على ضغط الماء : 28
3.3.2 التصنيف بناءً على شكل واتجاه التوربين: 29
4.2 نظرية التوربينات المائية: 30
1.4.2 توربينات كابلان 30
2.4.2 بوابات التوجيه الثابتة والمتحركة Wicket Gates 32
1.2.4.2 أنواع مختلفة من إغلاقات ريش التوجيه 33
3.4.2 بوابات التوجيه وشفرات التوربينات 34
4.4.2 السيرفو (الأسطوانة الهيدروليكية) 35
5.4.2 علاقة التوليف المثلى Optimal Cam Curve 35
6.4.2 منظم (حاكم) السرعة Speed Governor 36
الفصل الثالث 37
الإطار النظري .....
(التجارب العالمية و أدبيات البحث) .....
1.3 حوادث محطات مجهزة بتوربين كابلان 38
2.3 مناقشة الأدبيات 43
1.2.3 خوارزمية PID 44
2.2.3 نموذج التوربين– المولد The turbine-governor model 47
3.2.3 موديل الأسطوانة 49
4.2.3 دراسة خطأ الإزاحة للأسطوانات الهيدروليكية 51

الفصل الرابع 55

مجتمع البحث والدافع لتطوير الجزئيات المدروسة .....

1.4 جزئيات عينة البحث 56

1.1.4 البوابات القوسية 58

2.1.4 بوابات التوجيه 62

3.1.4 شفرات الدولاب العامل 64

4.1.4 وحدة الزيت الهيدروليكي المضغوط 66

5.1.4 صمامات التوجيه الهيدروليكية 69

6.1.4 المنظم الآلي – خزانة التحكم الهيدروميكانيكية 69

الفصل الخامس 83

النمذجة ومنصتي الاختبار ومناقشة النتائج .....

1.5 نمذجة التوربين 84

2.5 الدارات الهيدروليكية المنمذجة 87

1.2.5 نمذجة الدارة الهيدروليكية للبوابة القوسية 87

2.2.5 نمذجة الدارة الهيدروليكية المتحكمة ببوابات التوجيه المتحركة والشفرات العاملة 88

3.5 منصة الاختبار الأولى 89

4.5 منصة الاختبار الثانية 93

5.5 المقارنة بين منصتي الاختبار 96

6.5 المنظم الديجيتال والخوارزمية PID المقترحة 97

7.5 النتائج 99

الخاتمة ..... **خطأ! الإشارة المرجعية غير معرّفة.**

التوصيات والمقترحات 101

المراجع 106

Abstract 111

فهرس الجداول

الجدول رقم 1.3 بارامترات المخطط الصندوقي التحكمي لمجموعة التوليد توربين–مولد (معيار ICE CIM).....49

الجدول رقم 1.4 قياسات فعلية تم أخذها بتاريخ 2024/2/1 من قبل مشغلي سد الفرات لكل زاوية.....74

الجدول رقم 2.4 تفسير وحساب الضياعات للقياسات التي تم أخذها بتاريخ 2024.....75

الجدول رقم 1.5 نتائج تكرار التجربة في المنصة الأولى.....91

الجدول رقم 2.5 المقارنة بين منصتي الاختبار.....96

الجدول رقم 3.5 حساب قيمة الضياع.....100

فهرس معادلات

0.3 الشكل الأساسي لوحدة التحكم المشتقة التكاملية النسبية.....46

1.3 علاقة تدفق الكلي وضغط.....49

4.3 معادلة توازن القوة.....50

6.3 تطبيق لابلاس.....50

7.3 خطأ الوضع.....51

8.3 خرج PID.....51

فهرس الأشكال

الشكل رقم 1.1 الموقع الجغرافي لمحطتي التوليد الكهرومائية سيدواغي ولبلوتشونغ.....18

الشكل رقم 2.1 مراحل المسح لمحطتي التوليد الكهرومائية سيدواغي ولبلوتشونغ..... 19

الشكل رقم 3.1 الموقع الجغرافي لسد الماتي.....20

الشكل رقم 4.1 مخطط تخطيطي للنظام الهيدروليكي لوحدة الأسطوانة الهيدروليكية.....21

الشكل رقم 1.2 يوضح منظر عام لسد الفرات ومحطة التوليد الخاصة به.....24

الشكل رقم 2.2 يوضح الغلاف الحلزوني أو مجرى الماء المائل.....25

الشكل رقم 3.2 يوضح التوربينات البصلية أفقية التدفق.....29

الشكل رقم 4.2 يوضح التوربينات رأسية التدفق 30

الشكل رقم 5.2 يوضح توربين كابلان.....32

الشكل رقم 6.2 يوضح مجرى المياه خلال بوابات التوجيه الثابتة والمتحركة.....33

الشكل رقم 7.2 يوضح الركبة في مخطط أغلاق بوابات التوجيه المتحركة.....34

الشكل رقم 1.3 يوضح آثر الدمار الناتج عن كارثة محطة سد سايانو–شوشينسكايا في روسيا.....42

الشكل رقم 2.3 يوضح مفهوم الهندسة الأمامية مقارنة بالهندسة العكسية..... 44

الشكل رقم 3.3 يوضح مخطط صندوقي لمجموعة التوليد توربين–مولد..... 48

الشكل رقم 4.3 يوضح مخططاً صندوقياً تحكمياً لمجموعة التوليد توربين–مولد (معيار ICE CIM).....48

الشكل رقم 5.3 يوضح نموذج الجسم الحر للأسطوانة الهيدروليكية.....49

الشكل رقم 6.3 يوضح الخطأ الخطيLinearity error.....52

الشكل رقم 7.3 يوضح منحني التباطأ Hysteresis.....53

الشكل رقم 8.3 يوضح منحني النطاق الميت..... 54

الشكل رقم 1.4 يوضح الموقع الجغرافي لسد الفرات.....56

الشكل رقم 2.4 يوضح مقطع عرضي للمحطة.....57

الشكل رقم 3.4 يوضح آثر الدمار تاريخ 2017..... 58

الشكل رقم 4.4 يوضح مخطط الدارة الهيدروليكية رفع البوابة القوسية.....60

الشكل رقم 5.4 يوضح صور الاسطوانة الهيدروليكية رفع البوابة القوسية.....60

الشكل رقم 6.4 يوضح عناصر الدارة الهيدروليكية رفع البوابة القوسية.....61

الشكل رقم 7.4 يوضح عناصر نقل الحركة من السيرفو إلى الشفرات.....63

الشكل رقم 8.4 يوضح توضع السيرفو.....64

الشكل رقم 9.4 يوضح توربين كابلان وبعض التفاصيل الداخلية.....65

الشكل رقم 10.4 يوضح مستقبل الزيت على عنكبوت الاستناد.....66

الشكل رقم 11.4 يوضح مضخات الزيت الهيدروليكي.....66

الشكل رقم 12.4 يوضح خزانات الزيت المضغط.....67

الشكل رقم 13.4 يوضح صمام الأمان والتخفيف.....68

الشكل رقم 14.4 يوضح صمام الإقلاع والإيقاف.....68

الشكل رقم 15.4 يوضح المنزلقات الرئيسية الصمام الهيدروليكية.....69

الشكل رقم 16.4 مخطط حاكم السرعة.....71

الشكل رقم 17.4 يوضح صور حاكم السرعة والخزانة الهيدروميكانيكية.....71

الشكل رقم 18.4 يوضح مخطط صندوقي لاستجابة المنظم لانخفاض الحمل.....72

الشكل رقم 19.4 الخط البياني الذي يمثل علاقة التوليف بين شوط سيرفو بوابة التوجيه وزاوية الشفرات لدولاب.....73

الشكل رقم 20.4 الخط البياني لعلاقة التوليف موضوع من قبل المعهد السوفيتي الدارس.....74

الشكل رقم 21.4 (a) مخطط محصلة القوى المؤثرة على شفرة التوربين (c) محصلة القوة المؤثرة على الشفرة.....79

الشكل رقم 22.4 (a,b,c) آثر التضرر في الشفرات. (d) أعمال الصيانة للمجموعة السابعة.....80

الشكل رقم 23.4 خط بياني يمثل علاقة التوليف بين زاوية بوابة التوجيه المتحركة والشفرات لدولاب العامل للعنفة.....81

الشكل رقم 24.4 الخط البياني الذي يمثل علاقة الإزاحة للأسطوانات الهيدروليكية.....82

الشكل رقم 1.5 نموذج عام يوضح كيفية تدفق الماء باتجاه التوربين.....84

الشكل رقم 2.5 نموذج عام للتوربين يوضح تفاصيل للميكانزيمات الداخلية.....85

الشكل رقم 3.5 (a) توضع ميكانزيم تحريك الشفرات.(b) تفاصيل ميكانزيم تحريك الشفرات.....86

الشكل رقم 4.5 الدارة الهيدروليكية للبوابة القوسية كما هي من الواقع في المحطة دون إجراء تعديل.....87

الشكل رقم 5.5 الدارة الهيدروليكية المتحكمة ببوابات التوجيه المتحركة والشفرات العاملة.....88

الشكل رقم 6.5 يوضح مخطط هيدروليكي لمنصة الاختبار الأولى.....90

الشكل رقم 7.5 منصة الاختبار الأولى التي تم إجراءها ضمن مخبر التحكم الهيدروليكي.....92

الشكل رقم 8.5 منحني عمل الأسطوانة الهيدروليكية المتحكم فيها بواسطة الصمام التوجيهي.....92

الشكل رقم 9.5 منصة الاختبار الثاني التي تم إجراءها ضمن مخبر التحكم الهيدروليكي.....94

الشكل رقم 10.5 مخطط منصة الاختبار الثاني التي تم إجراءها ضمن مخبر التحكم الهيدروليكي.....95

الشكل رقم 11.5 منحني عمل الأسطوانة الهيدروليكية المتحكم فيها بواسطة الصمام التناسبية..... 96

الشكل رقم 13.5 مخطط مبسط لمنظم الديجتال المقترح.....100

التعابير والقيم الفيزيائية

التعبير	الرمز	الواحدة
القدرة الكهربائية	**P**	**MW**
التدفق	**Q**	$\mathbf{m^3/sec}$
الإزاحة	**S**	**mm**
الطاقة الكهربائية	**E**	**KWH**
خطأ التحكم	**e(t)**	
المكسب النسبي	K_p	
مكسب التكامل	K_i	
مكسب الاشتقاق	K_d	
زمن التغذية الراجعة	T_i	**Sec**
معدل التغير اللحظي للخطأ	**UD(t)**	
ضغط	**p**	$\mathbf{Kg_f/cm^2}$
معامل للزوجة الزيت	**ß**	
حجم التجويف	**V**	$\mathbf{m^3}$
مساحة	**A**	$\mathbf{m^2}$
زاوية الشفرة	**φ**	**Degree**
كتلة	**M**	**Kg**
قطر التوربين	**D**	**m**
محصلة القوة	**W**	**N**
القوة المحورية	**U**	**N**
قوة عمودية	**V**	**N**
تواتر	**f**	**HZ**

الملخص

أعد هذا البحث بهدف تطوير المنظومة الهيدروليكية المسؤولة عن التحكم في البوابات العاملة على المجرى المائي لتوربين واحد من نوع (Kaplan 110 MW) لمحطة التوليد الكهرومائية في سد الفرات. حيث اعتمد مبدأ الهندسة العكسية كمنطلق علمي نظري لأجل. 1- تكوين وتصميم دارات هيدروليكية منمذجه حاسوبيا محاكياً للواقع الحالي للمنظومة بواسطة برنامج FLUIDSIM. 2- وتصميم نموذج حاسوبي لتوربين محاكي تصميم توربين سد الفرات بواسطة برنامج SOLIDWORKS. 3- تم تحليل الواقع الحالي للمنظومة و جمع قراءات وقياسات ميدانية. 4- إنشاء منصة اختبار أولى، وتلخيص مجموعة النتائج لأجل مجموعة التوليد الأولى والثامنة. ومنه حددت النقاط التي يجب تطويرها لحل المشكلة المشار لها من قبل مؤسسة سد الفرات، والتي أكدتها الدراسة. أي اختلاف قيم الزوايا المقاسة للبوابات، وللشفرة العاملة عن منحني التوليف المثالي. ذلك الانحراف الذي أدى إلى انخفاض القدرة التوليدية، وزيادة الهدر المائي، وزيادة الأحمال الشاقولية على محامل التوربين. من خلال البحث وجد أن منظم (حاكم) السرعة الميكانيكي هو المؤثر الرئيسي للانحراف بسبب تقادم العمر الفني، ويضاف إلى ذلك أن الأسلوب التحكمي المتبع عبارة عن دارة تحكم مفتوحة وذلك فيما يخص التحكم بتحديد زاوية بوابات التوجيه المتحركة وشفرات الدولاب العامل. لهذا يهدف التطوير المقدم لرفع الدقة التشغيلية والكفاءة للمنظومة الهيدروليكية لخفض الهدر الحاصل في كلا البارامترين للتوربين الواحد وهم كمية الكهرباء المولدة مقدرة بMW و كمية الماء المتدفق لتوربين مقدرة ب m^3. من خلال استخدام الخوارزمية التحكمية PID ضمن حاكم السرعة الديجتال المقترح عوضا عن حاكم السرعة الميكانيكي المستخدم لأجل تحكم وتحويل الصمامات الهيدروليكية الرئيسية (المنزلقات الرئيسية) لصمامات تحاكي بعملها الصمامات التناسبية Proportional لأجل اختبار التطوير المقترح وتحصيل النتائج تم بناء منصة اختبار ثانية قورنت نتائجها مع منصة الاختبار الأولى وقدمت نتائج المقارنة وفق جداول توضيحية.

الكلمات المفتاحية Key Words: المنظومة الهيدروليكية – البوابات والشفرات العاملة – توربين Kaplan - السدود المائية – الهندسة العكسية – منحني التوليف – محطة التوليد الكهرومائية – الخوارزمية التحكمية PID.

الفصل الأول

الإطار العام

1.1 المقدمة:

الماء هو أحد العناصر الطبيعية الأكثر تواجدا على وجه الكوكب، ويعتبر من المصادر المستدامة للطاقة النظيفة في العالم. تم تسخيرها لصالح إنتاج الطاقة الكهربائية النظيفة، والذي دفع الكثير من اقتصادات دول العالم إلى الأمام. "16% من الطاقة الكهربائية المنتجة عالميا هي من المنشآت الكهرومائية" (Wagner, Mathur, 2011, P13). لهذا تم الاهتمام بالمنشآت الكهرومائية والتي تنوع تصميمها الفني، والتشغيلي وتأثر بالمتطلبات المحلية ونوع ومواصفات المصدر المائي. (Wagner, Mathur, 2011). المحطات الكهرومائية المقامة على الأنهار والتي تعتمد مبدأ مرور الماء من خلال ممرات يحددها حاجز يدعى بالسد المائي. يستفاد منها لأجل توليد طاقة كهربائية وتأمين خزان مائي مهم للشرب والري. يعد سد الفرات في سوريا من أهم المنشآت الكهرومائية والذي تعرض لضرر كبير في تجهيزاته خلال الاثنتي عشرة سنة الماضية مما آثر على قدرته التوليدية للطاقة الكهربائية. قُدر العجز حتى 500 MW علما أن السد يحوي 8 توربينات من نوع Kaplan 110 MW، أربع منها متوقفة بشكل كامل والأربعة المتبقية تعاني من إشكالات في منظومة التشغيل والتحكم بالتوربين والذي يأثر سلبيا على قدرة التوليد للطاقة الكهربائية. القدرة التوليدية الأسمية لمنشأة سد الفرات تصل حتى 880 MW والتي يمكن أن تقدم في فترة الذروة "حسب تصريح مهندسي الكهرباء في سد الفرات والتي تشكل 8.61% من إنتاج سوريا عام 2010 بقدرة كاملة تبلغ 9344MW" (Hatahet, Shaar, 2021, p12). خلال الاثنتي عشرة سنة الماضية حصل عجز في القدرة التوليدية لمنشأة سد الفرات بسبب تضرر جزء كبير من التجهيزات الفنية. حيث أصبح "يعمل بشكل جزئي على الرغم من الصيانة غير المنتظمة والإهمال ولكنها انفصلت مرارا وتكرارا عن الشبكة" (Hatahet, Shaar, 2021,p16). القدرة الكهربائية المتولدة لسد الفرات تقدر بشكل متوسط 200 MW (www.syria-electricity.com, 2019).

2.1 مشكلة البحث:

انخفاض القدرة التوليدية يأتي بسبب توقف أربع مجموعات توليد بشكل كامل عن العمل. كما أن المجموعات العاملة الأربع المتبقية تنتج طاقة كهربائية متولدة أقل من الإمكانية الفعلية للمجموعة. على الرغم من أن الضاغط المائي المطبق يتراوح بين قيم (43-49) متر. وهي قيم عاملة مناسبة ولكن الاستطاعة المولدة المقابلة لكل من قيم الضاغط لا تتوافق مع إمكانيات أو جدول التوليد الفعلي، والتي كانت تولد قبل سنة 2012. إن العوامل المؤثرة على الاستطاعة المولدة التي تبدأ بالضاغط المائي وهو ارتفاع الخزان المائي خلف السد، وهو عامل يتأثر بكمية المياه الواردة إلى البحيرة وكمية المياه المطلوب تصريفها إلى المجرى الرئيسي للنهر. أما العامل الثاني وهو التدفق أي كمية المياه المتدفقة إلى داخل حجرة التوربين والتي تعاير بواسطة زاوية فتحة بوابات التوجيه المتحركة وهي تحمل طاقة جريان تصب على سطح شفرات الدولاب العامل حيث أن مقدار السطح المعرض باتجاه مجرى الجريان يتم التحكم فيه من خلال زاوية فتحة الشفرات العاملة علما أن الزاويتين يربط بينهما علاقة توليف والتي يكون حاكم السرعة هو المسؤول عن تطبيقها من خلال التحكم بالصمامات الهيدروليكية المشغلة للأسطوانات الهيدروليكية (سيرفو) والتي بدورها تحدد زاوية فتحة كل من بوابات التوجيه المتحركة والشفرات العاملة. وعليه فإن الاستطاعة المولدة والتدفق لها ارتباط وثيق بكفاءة عمل حاكم السرعة وكل من الصمامات والأسطوانات الهيدروليكية. إن زيادة كفاءة عمل التوربين متعلق بتطوير المنظومة الهيدروليكية وحاكم السرعة المتحكم بها. لتفادي الانحرافات عن علاقة التوليف الحاصلة بسبب تقادم العمر الفني لحاكم السرعة يضاف إلى ذلك أن الأسلوب التحكمي المتبع من نمط دارة تحكمية مفتوحة وذلك فيما يخص التحكم بتحديد زاوية بوابات التوجيه المتحركة وشفرات الدولاب العامل. وعليه تمت الدراسة.

3.1 هدف البحث:

يهدف هذا البحث لنمذجة وتطوير المنظومة الهيدروليكية لزيادة دقة التشغيل. من خلال إعادة تصميم الدارة المسؤولة عن التحكم في المجرى المائي المسلط على التوربين، وذلك لأجل زيادة كفاءة التشغيل للتوربين، ورفع القدرة الإنتاجية لها وتقليل الهدر المائي والطاقي. كما أن التشغيل السلس للتوربين يؤثر بشكل كبير على الحالة الفنية لتجهيزات الميكانيكية مما يطيل من عمرها الخدمي، وبالتالي يحقق أحد أهداف البحث، وهو خفض تكاليف الصيانة.

4.1 أهمية البحث:

تستمد أهمية البحث المقدم من أهمية سد الفرات كمنشأة كهرومائية حيوية في سورية، والذي يولد قدرة كهربائية نظيفة بشكل أعظمي 880 MW، والتي بإمكانها سد ما نسبته 10.23% من الطلب الأقصى للطاقة، والذي قدر في صيف عام 2010 بـ8600 MW (Hatahet, Shaar. 2021.p12). بتطبيق الإمكانية التي تقدمها الهندسة العكسية، والتي أعطت مرونة للتعامل مع كلا الحالتين تطوير منظومة أو دراستها لتلافي مشكلات ظاهرة أو تصنيع مشابه لميكانيزمات وأنظمة غير متوفرة لها مخططات أو رسوميات بسبب احتكار المصنع. والحالة الثانية هي حالة المعالجة بعد الأزمات التي قد تحدث للمنشآت الحيوية نتيجة الحروب أو الكوارث الطبيعية. حيث تحتاج تلك المنظومات لتأهيل، وتشغيل باستجابة سريعة أو حتى تطوير بالمنظومة نفسها لتلافي وقوع كارثة داخل المنشأة بسبب عيب بتصميم النظام أو تقادمه أو إهمال القيام بأعمال الصيانة له. الدراسة قدمت طريقا سلطت ضوءً على الاستفادة ودمج الهندسة العكسية مع تقنيات النمذجة، ودراسات تطوير، وتطبيقات الأتمتة المتقدمة، ودراسات أعادة تحليل التصاميم لرفع الكفاءة، وتقديم حلول أكثر توفيرا للطاقة.

5.1 حدود البحث

يشمل نطاق البحث فهم التطوير على الدارات الهيدروليكية من خلال تحليل أدائها، وأثر العناصر المكونة لها في تحسين دقة التشغيل، وكيفية إعادة تصميم المنظومة من خلال استبدال أو إضافة عناصر جديدة، وأيضا من خلال تطوير خوارزميات التحكم فيها للتغلب على الأخطاء، والارتياب في تحديد الموقع، وقيمة الإزاحة للأسطوانات (المشغلات) لتحقيق الموثوقية، وزيادة كفاءة المنظومات المعتمدة على تلك الدارات الهيدروليكية. الحدود المكانية للبحث هي محطة التوليد الكهرومائية سد الفرات.

6.1 الدراسات المرجعية

جرى الإطلاع على العديد من الكتب، والرسائل، والأوراق البحثية لمعرفة ما توصل إليه الباحثون المختصون في مجال بحثنا ونعرض فيما يلي أهم الأبحاث.

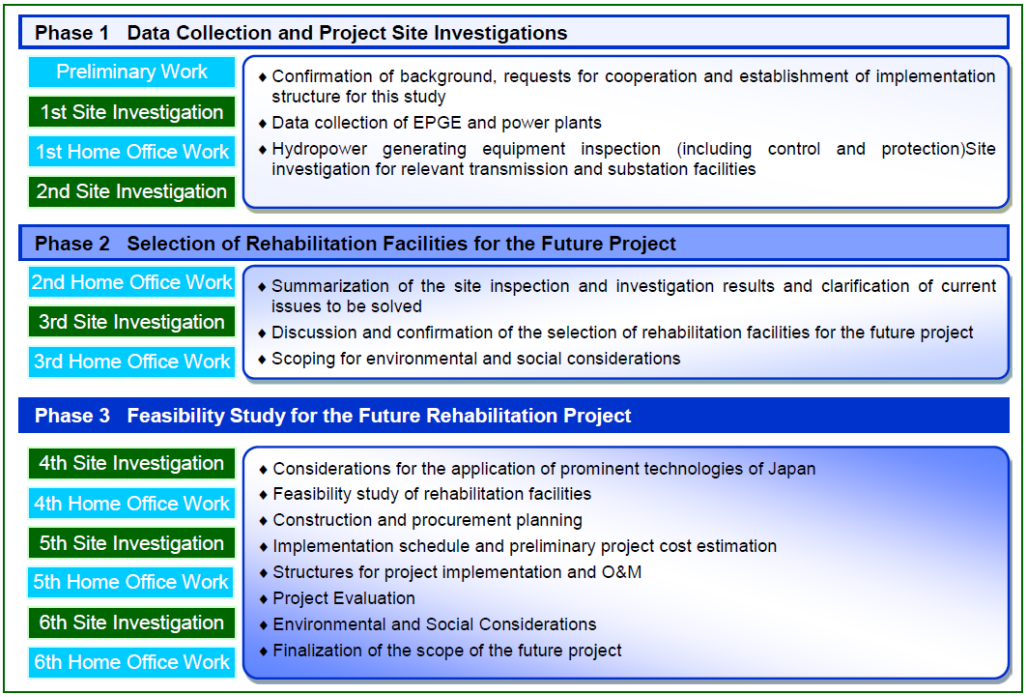
1.6.1 الدراسة الأولى

في عام 2015 قامت وكالة التنسيق الدولي اليابانية بطلب من حكومة منمار بدراسة لإعادة تأهيل محطة الطاقة الكهرومائية لبلوتشونج رقم 1 ومحطة الطاقة الكهرومائية سيداوغي الشكل (1.1). تم التركيز على الدراسة المقدمة لصالح محطة الطاقة سيداوغي بسبب التشابه بينها وبين محطة الفرات من خلال نوع التوربين المستخدم. حيث أن النتائج المرجوة هي الحصول على عمر افتراضي أطول لتوليد الطاقة. علما أن المحطة مجهزة بوحدتين توليدية Vertical Kaplan 12.5 MW. حيث ذكرت الدراسة أهمية إعادة التصميم، واستبدال النظام الحالي بنظام أحدث ديجيتال، وليس فقط إعادة التأهيل، وذلك بسبب المشاكل الميكانيكية، وتراجع كفاءتها. حيث تم اقتراح تحسين كفاءة التوربين، وخصائص تجويف الممر. حيث وجب إعادة تصميم مقاطع شفرات التوجيه المتحركة. الدراسة قدمت تقرير للمسح والتفيش الفني للمعدات وتحديد الحالة الفنية والإجرائية المطلوبة اتخاذها حيث تم الإشارة إلى أن انخفاض أداء

التوليد للتوربين نتيجة التقادم و الإهمال. لم يتم التطرق لمدى تأثر حالة حاكم السرعة للأداء العام للعنفة أيضا لم يقترح التطوير الواجب اتخاذه. "يهدف المسح إلى إجراء دراسة لمرافق الطاقة الكهرومائية الحالية من خلال التحقيق في مخطط المشروع، والظروف الحالية، وأعمال الإصلاح / الاستبدال المطلوبة، وتقدير التكلفة، وهيكل التنفيذ، والإدارة، وهيكل التشغيل والصيانة، والاعتبارات البيئية والاجتماعية والتقييم الاقتصادي والمالي لمشروع إعادة تأهيل كلا المحطتين المذكورتين، وهو أمر مطلوب للتحقق من جدوى المشروع (JICA, 2016, c1-p2). تم تصنيف محتويات المسح إلى ثلاث مراحل، "المرحلة 1: جمع البيانات والتحقيقات في موقع المشروع"، "والمرحلة 2: اختيار مرافق إعادة التأهيل للمشروع المستقبلي" و"المرحلة 3: دراسة الجدوى للمشروع المستقبلي". تظهر مكونات الدراسة الرئيسية في كل مرحلة وجدول زمني في الشكل (2.1) (JICA, 2016, c1-p4)



الشكل (1.1): محطة التوليد الكهرومائية سيدواغي.(JICA, 2016)



الشكل (2.1): مراحل المسح لمحطتي التوليد الكهرومائية سيدواغي ولبلوتشونغ.(JICA, 2016, c1-p4)

2.6.1 الدراسة الثانية

الدراسة التي قادها كبير مهندسي سد الماتي (Almatti) في ولاية كارناتاكا– الهند في عام 2018. هدفت لتحليل وضع السد وتجهيزاته ووضع جدول صيانة له. السد يحوي 6 مجموعات Kaplan 15 MW يتم التحكم في بوابات التوجيه تلقائيًا بواسطة منظم كهروهيدروليكي من خلال HMC (التحكم الهيدروميكانيكي). الدراسة لم تتطرق لتطويرات مستقبلية لمنظومة التحكم. تمثل هذه الوثيقة دليل تشغيل وصيانة مفصل لسد الماتي، كارناتاكا، حيث تقدم أوصافًا مكتوبة للإجراءات اللازمة لضمان تشغيل السد بأمان والحفاظ عليه في حالة جيدة من خلال عمليات التفتيش الدورية والإصلاحات والصيانة بطريقة مستدامة. الصيانة في الوقت المناسب مهمة للاستمرار في التشغيل الآمن والاستخدام المنتج للسد والخزان. تم إعداد الدليل في المقام الأول لموظفي تشغيل السد ومشرفيهم المكلفين بمسؤولية العمليات المادية وصيانة السد. يحتوي الدليل كحد أدنى على جميع المعلومات والتعليمات اللازمة لهم لأداء المهام المخصصة لهم بطريقة آمنة. بالإضافة إلى التعليمات لموظفي تشغيل السد، يتضمن الدليل جميع التعليمات اللازمة

للموظفين الآخرين المشاركين بشكل مباشر أو غير مباشر في تشغيل وصيانة السد. يوضح الشكل (3.1) الموقع الجغرافي لسد الماتي (Krishna Nigam, 2018).



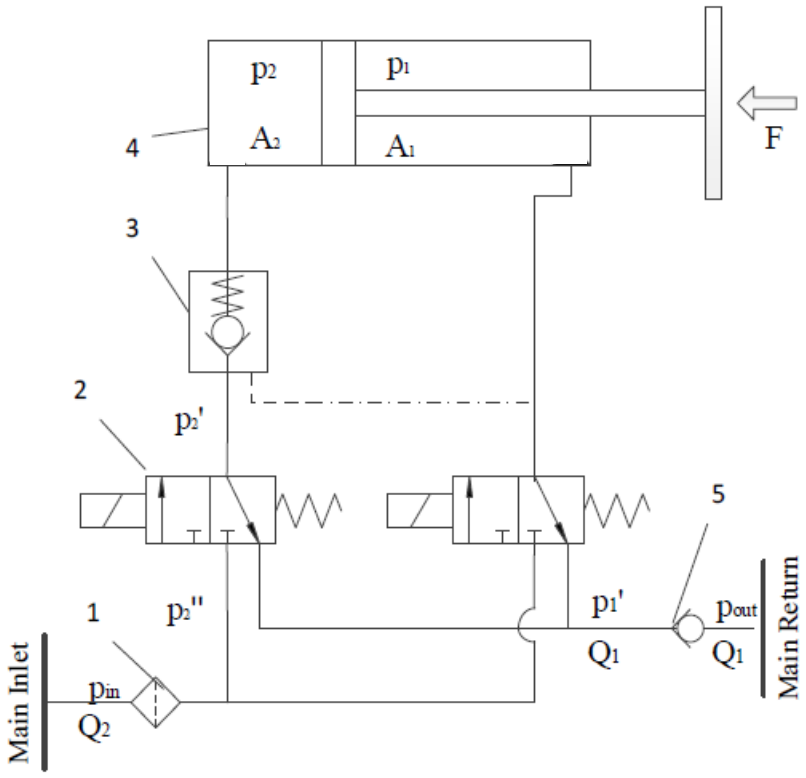
الشكل (3.1): الموقع الجغرافي لسد الماتي (Almatti) (Krishna Nigam, 2018. P3).

3.6.1 الدراسة الثالث

في ضوء الدراسة المقدمة في عام 2019 من قبل مكتب استصلاح الاراضي في وزارة الداخلية الأمريكية المقدمة لزيادة الارتفاع التخزيني لسد Shasta بمقدار 20.5 feet 18.5 feet. حيث المنشأة الكهرومائية مجهزة بخمسة وحدات توليدية باستطاعة عظمى 142 MW. ازدياد الضاغط Net Head أدى إلى تأمين ضغط، وتدفق مائي تجاوز القدرة الميكانيكية العظمى لعناصر العنفة، وخاصة الشفرات العاملة وبوابات التوجيهية المتحركة. مما تحتم على الدارسين تقديم دراسة تحليلية تصميمية، لتحديد وتقديم عناصر ميكانيكية جديدة تتأقلم مع الزيادة في القدرة المائية الجديدة للمحطة الكهرومائية (US Bureau of Reclamation, 2019).

4.6.1 الدراسة الرابعة

الدراسة تقدم نظام تحكم كهرو هيدروليكي بالموقع الشكل (4.1). اعتمادا على التحقق وقياس الضغط. والذي يمكن بشكل كبير كفاءة الازاحة للمشغل الهيدروليكي بالمقارنة مع الأنظمة التقليدية التي تعتمد على الوقت للتحكم بالموقع وفهم أفضل لأتمته وتطوير ميكانزيم وجه التعدين المستخدمة في صناعة التعدين والمناجم. التطوير المقدم تم بدراسة "صمام توجيه كهرو هيدروليكي كعنصر تحكم حيث أن التحكم بالموقع للإزاحة للأسطوانة الهيدروليكية يتم من خلال مراقبة الضغط في الوقت الحقيقي. المنظومة تتميز بتكلفة منخفضة ودقة تحكم معتدلة. لا يحتاج حساسات ازاحة للأسطوانة الهيدروليكية. لكنه بحاجة لحساسات لمراقبة الضغط على الخطوط الهيدروليكية وتجميع تلك القراءات ومعالجتها" (Zhou and others. 2021. P3).



الشكل (4.1): مخطط تخطيطي للنظام الهيدروليكي لوحدة الأسطوانة الهيدروليكية. 1. الفلتر. 2. صمام الاتجاه. 3. صمام عدم رجوع. 4. الأسطوانة الهيدروليكية. 5. قاطع الدائرة الإرجاعي. (Zhou and others. 2021. P3)

5.6.1 دراسات أخرى

لتلبية متطلبات التطبيق، يعد الأداء العالي هو الهدف طويل الأمد للباحثين في هذا المجال التقني. ركزت معظم الأبحاث على تطبيق خوارزميات التحكم المتقدمة. يعد التحكم في وضع الازاحة وموقع الأسطوانة نهجاً مستخدماً بشكل متكرر في الأنظمة الهيدروليكية للتكيف مع عدم اليقين في النظام وتغير المعلمات المحدودة وتغيير الحمل. يمكن أيضاً العثور على العديد من استراتيجيات التحكم الأخرى في الأنظمة الهيدروليكية، مثل التحكم القوي Hμ، والتحكم التكيفي، وPID المعدل، والتحكم الضبابي، والتحكم في التراجع، والتحكم في الوضع الداخلي وما إلى ذلك. يتم التحكم في الانزياح (موضع الأسطوانة الهيدروليكية) بدقة بشكل أساسي بواسطة صمام تناسبي أو صمام سيرفو (Zhu, P.; Zou, S.; Xie, Y. 2019), (Sun, C.; Wu, L.; Xi, G. 2016). قدم نموذجًا غير خطي جديدًا وطريقة تحكم عالية الدقة في حركة الرفع لمعالج هيدروليكي مدفوع بصمام تناسبي (Li, L. 2021). اقترح وحدة تحكم جديدة في ردود الفعل ذات الوقت المحدود مع تكييف المعلمات لأنظمة السيرفو الكهرو هيدروليكية (Yin, L.2021). ومع ذلك، نظرًا لانخفاض كفاءة الطاقة والتكلفة العالية لهذه الصمامات التحكمية، فإن سيناريوهات التطبيق محدودة. في السنوات الأخيرة، أجرى العديد من العلماء استكشافات جديدة من أجل تقليل تكلفة صمامات نظام التحكم في الموضع وتحسين نطاق التطبيق. على سبيل المثال، ابتكر محرك هيدروليكي رقمي متكامل، يدمج التغذية الراجعة والتحكم في الصمام والأسطوانة في مجموعة واحدة لتحقيق التحكم الدقيق في الإزاحة (Yang, H. 2020)، واقترح فكرة عالية الدقة لموضع خرج الأسطوانة الهيدروليكية من خلال التحكم في التغذية الراجعة ذات الحلقة المغلقة للإزاحة على مرحلتين مع صمام اتجاهي للتحكم الكهرو هيدروليكي العادي وتخميد الاختناق الهيدروليكي كمكونات أساسية (Zhou, C. 2017) اقترح باحث من جامعة Zhejiang نظام تحكم دقيق للأسطوانة الهيدروليكية يعتمد على صمام اتجاهي للتحكم الكهروهيدروليكي، وذلك بشكل أساسي من منظور خوارزمية التحكم وتحديد النموذج (Jin, L. 2019).

الفصل الثاني

الإطار النظري والمفاهيم

1.2 محطات توليد الطاقة الكهربائية في السدود المائية Hydro Power Plant:

أينما وجدت المياه في أماكن مرتفعة كالبحيرات ومجاري الأنهار يمكن التفكير بتوليد الطاقة، خاصة إذا كانت طبيعة الأرض التي تهطل فيها الأمطار أو تجري فيها أنهار جبلية ومرتفعة. ففي هذه الحالة يمكن توليد الكهرباء من مساقط المياه. أما إذا كانت مجاري الأنهار ذات انحدار خفيف فيقتضي بناء سدود في الأماكن المناسبة من مجرى النهر لتخزين المياه. تنشأ محطات التوليد عادة بالقرب من هذه السدود كما هو الحال في مجرى نهر النيل. وقد بني السد العالي وبنيت معه محطة توليد كهرباء بلغت قدرتها 1800 ميغاواط. وعلى نهر الفرات في شمال سوريا بني سد ومحطة مائية لتوليد الكهرباء شكل (1.1) بلغت قدرتها المركبة 800 ميغاواط. إذا كان مجرى النهر منحدرا انحدار كبيرا فيمكن عمل تحويلة في مجرى النهر باتجاه أحد الوديان المجاورة وعمل شلال اصطناعي. هذا بالإضافة إلى الشلالات الطبيعية التي تستخدم مباشرة لتوليد الكهرباء. كما هو حاصل في شلالات نياغرا بن كندا والوايات المتحدة. وبصورة عامة فإن أي كمية من المياه موجودة على ارتفاع معين تحتوي على طاقة كامنة في موقعها. فإذا هبطت كمية المياه إلى ارتفاع أدنى تحولت الطاقة الكامنة إلى طاقة حركية. وإذا سلطت كمية المياه على توربينة مائية دارت بسرعة كبيرة، وتكونت على محور التوربينة طاقة ميكانيكية. وإذا ربطت التوربينة مع محور المولد الكهربائي تولد على أطراف العضو الثابت من المولد طاقة كهربائية.

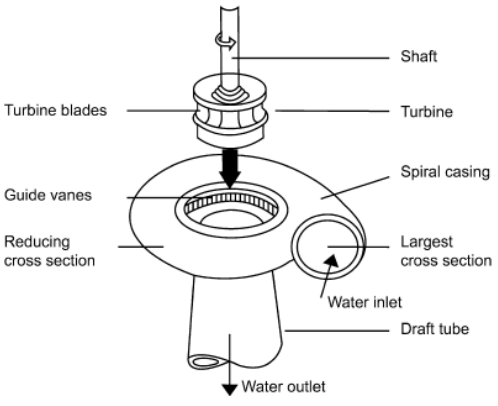


الشكل (1.2): يوضح منظر عام لسد الفرات ومحطة التوليد الخاصة به

2.2 مكونات محطة التوليد المائية Components of Hydro-Electric Station:

تتألف محطة توليد الكهرباء المائية بصورة عامة من الأجزاء الرئيسية التالية:

أ) مساقط المياه (المجرى المائل Penstock): هي أنابيب تحمل المياه من الخزان إلى التوربينات الموجودة داخل محطة الطاقة. وهي عادة ما تكون مصنوعة من الفولاذ أو الخرسانة، ومجهزة بأنظمة بوابات للتحكم في التدفق. ويكون ضغط المياه المتدفقة عبر أنابيب المياه مرتفعًا جدًا. وفي بعض المواقع التي يوجد فيها عائق بين السد ومحطة الطاقة مثل الجبل، فإن النفق الذي يربط الخزان ومحطة الطاقة نفسها يخدم غرض أنابيب المياه. بعد المرور عبر الشبكة لمنع دخول العناصر الصلبة الكبيرة مثل الحجارة أو الحصى. يواجه الماء المدخل على شكل بوق والذي يُسمى أيضًا بالغلاف الحلزوني كما هو موضح في الشكل (2.2). ويقل المقطع العرضي للغلاف الحلزوني باستمرار على طوله محيطيًا حول التوربين. ويؤدي هذا الجزء من البناء وظيفة اصطدام المياه بالتوربين بشكل متماثل، مما يضمن أن كل جزء من التوربين يتلقى نفس كمية المياه الواردة. إذا لم يكن الغلاف الحلزوني موجودًا، فإن شفرات التوربين التي تستقبل الماء لاحقًا ستحصل على كمية مياه أقل من الجزء المتصل بالتوربين الذي يأتي أولاً في مسار الماء الوارد. يمكن أن يكون مدخل البوق في وضع أفقي أو رأسي ويتم بناؤه حول توربينات فرانسيس أو كابلان. وعلاوة على ذلك، يمكن أن تكون مصنوعة من الفولاذ أو الخرسانة.



الشكل (2.2): الغلاف الحلزوني أو مجرى الماء المائل (Wagner, Muther, 2011, p:59)

ب) التوربين Turbine: تكون العنفة والمولد عادة في مكان واحد مركبين على محور رأسي واحد. يركب المولد فوق التوربينة. يمكن اعتبار التوربين بمثابة قلب أي محطة للطاقة الكهرومائية. ويتلخص دوره في تحويل طاقة المياه إلى طاقة ميكانيكية، أي عن طريق تدوير العمود. وتحتوي التوربينات الهيدروليكية على صف من الشفرات مثبتة على العمود الدوار أو لوحة دوارة. ويصطدم الماء المتدفق، أثناء مروره عبر التوربين الهيدروليكي، بشفرات التوربين مما ويجعل العمود يدور بسبب قوة صدم الماء. وأثناء تدفق الماء عبر التوربين الهيدروليكي، تقل سرعة وضغط الماء مما يؤدي إلى تزايد عزم الدوران حول محور التوربين. وهناك أشكال أو تصاميم مختلفة للتوربينات الهيدروليكية مستخدمة اعتمادًا على متطلبات التشغيل. ويعد اختيار التوربين أمرًا بالغ الأهمية لنجاح محطة الطاقة الكهرومائية. ولا يمكن تحقيق الناتج الأمثل لتركيبة محددة من تدفق المياه والضغط إلا من خلال نوع مناسب من التوربينات الهيدروليكية.

ج) المولد Generator: على غرار أي مولد آخر، فإن الوظيفة الأساسية للمولد في محطة الطاقة الكهرومائية هي تحويل دوران العمود إلى طاقة كهربائية. بجانب التوربين، هو الجزء الأكثر أهمية في محطة الطاقة الكهرومائية.

د) أنبوبة السحب Draught Tubes: بعد أن تعمل المياه المتدفقة في تدوير العنفة فلا بد من سحبها للخارج بسرعة ويسر حتى لا تعيق الدوران. لذا توضع أنابيب بأشكال خاصة لسحبها للخارج بالسرعة اللازمة.

د) المعدات والآلات المساعدة Auxiliaries: تحتاج محطات التوليد المائية إلى العديد من الآلات المساعدة مثل المضخات والبوابات والمفاتيح ومعدات تنظيم سرعة الدوران وغيرها.

3.2 تصنيف التوربينات (العنفات) المائية:

حيث يوجد ثلاثة معايير رئيسية للتصنيف:

- التصنيف بناءً على اتجاه التدفق.
- التصنيف بناءً على ضغط الماء.
- التصنيف بناءً على شكل واتجاه التوربين.

1.3.2 التصنيف بناءً على اتجاه التدفق:

يمكن أن يمر الماء عبر التوربينات الهيدروليكية من خلال مسارات تدفق مختلفة. بناءً على مسار تدفق المياه، يمكن تصنيف التوربينات الهيدروليكية إلى ثلاثة أنواع:

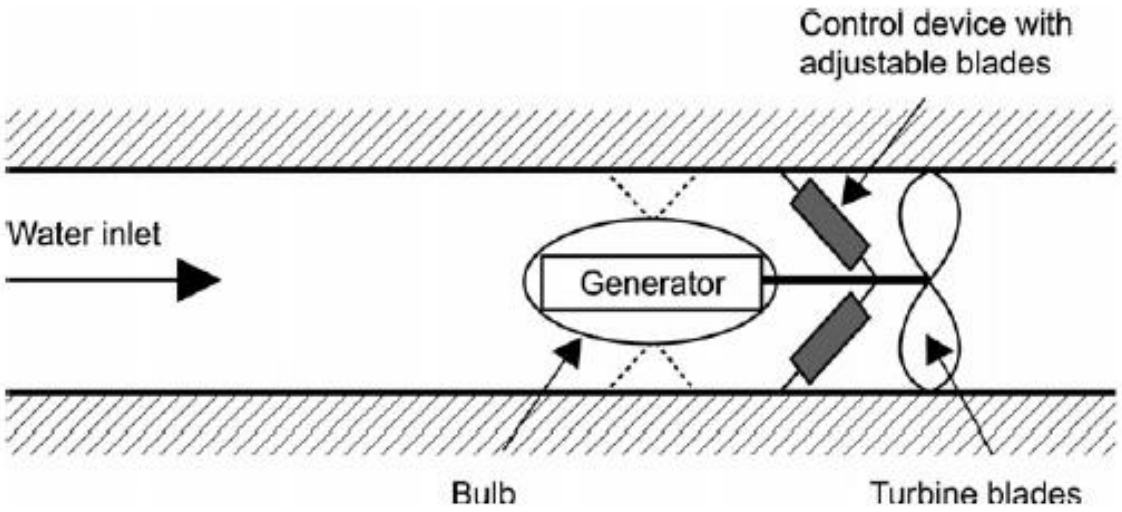
- توربينات التدفق المحوري.
- توربينات التدفق القطري.
- توربينات التدفق المختلط.

2.3.2 التصنيف بناءً على ضغط الماء:

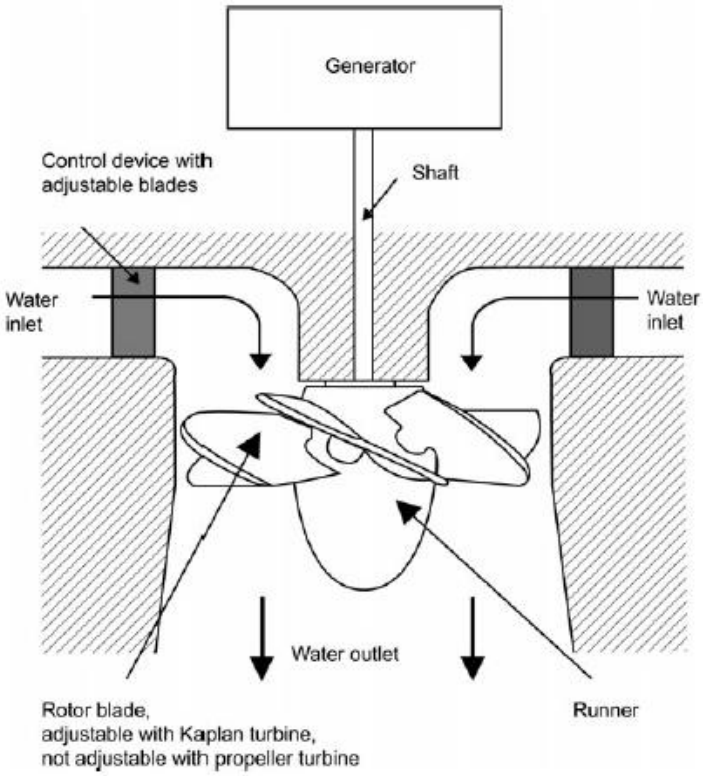
هذا التصنيف يعتمد على التغير في ضغط الماء عندما يمر عبر شفرات التوربينات الهيدروليكية. بناءً على التغير في الضغط، يمكن تصنيف التوربينات الهيدروليكية إلى نوعين: 1- التوربينات النبضية. 2- التوربينات التفاعلية.

3.3.2 التصنيف بناءً على شكل واتجاه التوربين:

يمكن تصنيف التوربينات أيضاً حسب بنائها أو تركيبها. فهناك توربينات بصلية، وتوربينات رأسية، وتوربينات سترافلو. تتجه التوربينات البصلية أفقيًا تقريبًا ويقع مولدها في علبة على شكل بصيلة أو كمثرى. وهنا يحيط ماء النهر المتدفق بالبناء جزئيًا ثم يتدفق عبر التوربين يوضح ذلك في الشكل (2.3). وهذا يتعلق بتوربينات المروحة وتوربينات كابلان. توربين سترافلو هو توربين بصلي متقدم، إذا جاز التعبير، مع وجود أقطاب المولد على الحلقة الخارجية للدوار. يتم تثبيت شفرات الدوار على حلقة تنشط المولد. تعتبر توربينات سترافلو بمثابة توربينات مروحية. من ناحية أخرى، تتجه التوربينات الرأسية رأسيًا تقريبًا ويقع المولد فوق تيار الماء يوضح ذلك في الشكل (3.3). توجد أمثلة لهذه الأنواع في توربينات المروحة، وتوربينات كابلان. يمكن وضع توربينات كابلان وفرانسيس إما أفقيًا أو رأسيًا. وجد أن معظم توربينات فرانسيس الكبيرة تدور في مستوى أفقي بسبب الأداء الأفضل للغلاف الحلزوني في الوضع الأفقي. توربينات بيلتون هي توربينات تستخدم في الارتفاعات العالية ولكن الكتل المائية المنخفضة. تدورّ هذه التوربينات في الغالب في مستوى رأسي. بالإضافة إلى طرق تصنيف التوربينات الموضحة أعلاه، يمكن أيضًا تصنيف التوربينات حسب درجة التحميل. يمكن أن تكون محملة بالكامل أو جزئيًا. يعني التحميل الكامل أن الماء يتدفق إلى محيط الدوار بالكامل، بينما يحدث التحميل الجزئي عندما يتدفق الماء فقط على مناطق قليلة إلى محيط الدوار. ونتيجة لذلك، فإن شفرات التوربين ذات التحميل الجزئي لها فترة "راحة" بين الأحمال. من الأمثلة على هذا النوع من التوربينات توربينات بيلتون، حيث يعمل عدد صغير فقط من الشفرات في أي نقطة زمنية واحدة. وهناك تصنيف آخر يعتمد على تدرج الضغط على الدوار. وهناك توربينات الضغط الزائد، مثل توربينات كابلان أو فرانسيس أو المروحة. وهنا يكون الضغط نتيجة لتراكم الماء على التوربين، ويكون الضغط أعلى على جانب الماء العلوي منه على جانب الماء السفلي. والنوع الآخر هو توربين الضغط المتساوي، حيث يتدفق الماء عبر الهواء الطلق قبل الوصول إلى شفرات التوربين. وبالمقارنة مع توربينات الضغط الزائد، فإن توربينات الضغط المتساوي تتمتع بضغط ماء أعلى على شفرات التوربين من توربينات الضغط الزائد، لأن هناك ارتفاعات أكبر للسقوط.



الشكل (3.2): التوربينات البصلية أفقية التدفق (Wagner, Muther, 2011, p:76)



الشكل (4.2): التوربينات رأسية التدفق (Wagner, Muther, 2011, p:77)

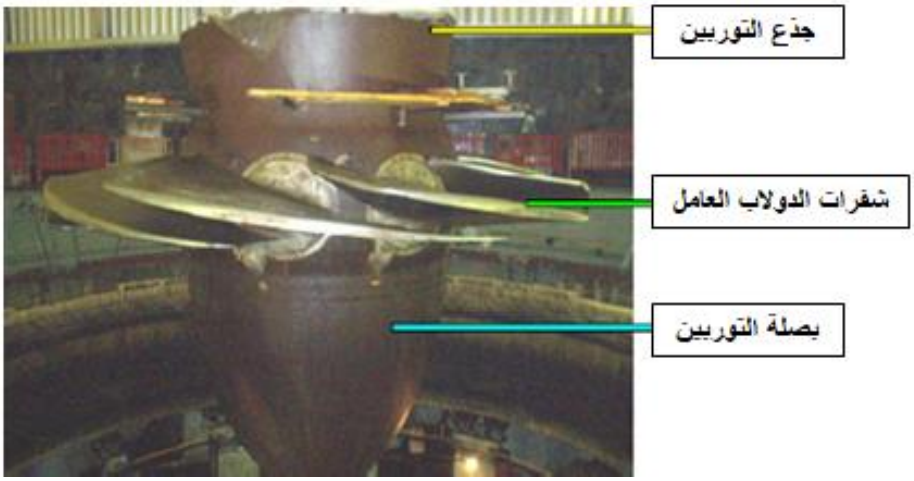
4.2 نظرية التوربينات المائية:

بالإضافة إلى القسم السابق، يمكن أيضًا تصنيف التوربينات حسب نوع البناء، وأهمها توربينات فرانسيس وبيلتون وكابلان أو توربينات المروحة،. وقد تم تسميتها على اسم مخترعيها.

1.4.2 توربينات كابلان kaplan Turbines

لتوليد كمية كبيرة من الطاقة من ارتفاعات صغيرة من المياه باستخدام توربين كابلان، من الضروري أن يكون هناك معدلات تدفق كبيرة للمياه عبر التوربين. تم تصميم توربين كابلان لاستيعاب معدلات التدفق الكبيرة المطلوبة. باستثناء محاذاة الشفرات، فإن بناء توربين كابلان مشابه إلى حد كبير لبناء توربين فرانسيس. يحتوي توربين كابلان أيضًا على حلقة من الريش التوجيهية عند مدخل المياه إلى التوربين. على عكس توربين فرانسيس الذي يحتوي على ريش توجيه مباشرة على محيط دوار التوربين، يمكن أن يكون هناك ممر بين الريش التوجيهية ودوار توربين كابلان يوضح ذلك في الشكل (6.2). شكل الممر هو بحيث يتم إجبار التدفق الذي يدخل الممر في الاتجاه الشعاعي على التدفق في الاتجاه المحوري. يتم ربط شفرات الدوار بالعمود المركزي للتوربين. يتم توصيل الشفرات بالعمود بمفاصل متحركة بحيث يمكن تدوير الشفرات وفقًا لمعدل التدفق وارتفاع سقوط الماء المتاح. يكون مدخل الماء على شكل أنبوب على شكل حلزوني يلتف حول بوابة التوجيه الخاصة بالتوربين. يتم توجيه الماء بشكل مماسي عبر بوابة التوجيه ويدور على شكل زاحف على شكل مروحة، مما يتسبب في دورانه. المخرج عبارة عن أنبوب سحب متباعد بشكل خاص يساعد في إبطاء سرعة الماء واستعادة الطاقة الحركية. يمكن استخدام التوربينات كما ذكرنا سابقًا في كلا الاتجاهين، أفقيًا أو رأسيًا. تسمح هندسة ميكانيزم تحريك ريشة بوابة التوجيه المتحركة، وريشة شفرات الدولاب العامل بتشغيل فعال لمجموعة واسعة من ظروف التدفق. تبلغ كفاءة توربينات كابلان عادةً حوالي 90% وأكثر، ولكنها قد تكون أقل في تطبيقات ارتفاع المياه المنخفض جدًا. تحتوي توربينات المروحة على ريش مروحة غير قابلة للتعديل. تُستخدم في الظروف التي لا يكون فيها تغير في حجم الماء كبيرًا. تتراوح توربينات المروحة المتوفرة تجاريًا

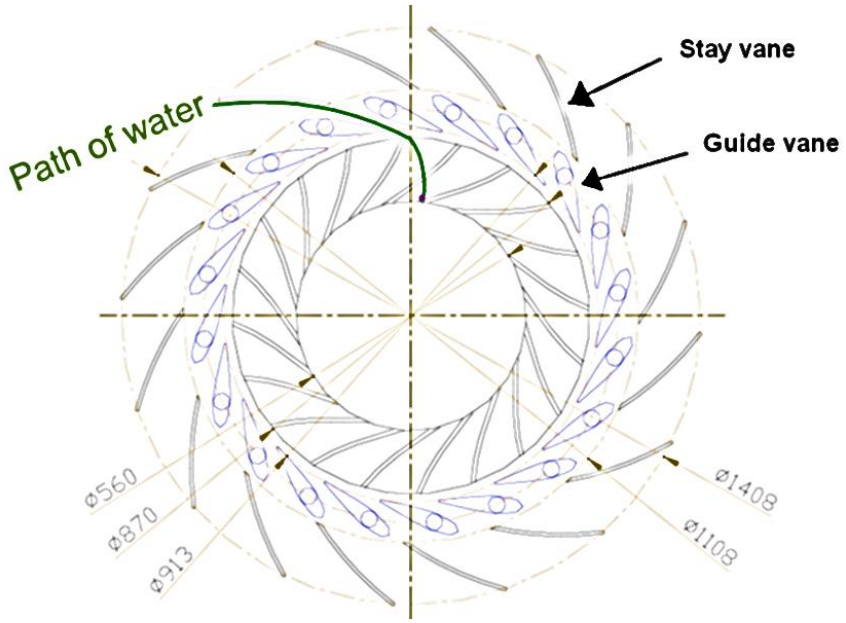
من بضعة كيلووات إلى أكثر من 100 ميجاوات. توربينات الحفرة هي توربينات كابلان أو توربينات المروحة التي يتم تركيبها كتوربينات بصلية. لديها علبة تروس. عادةً ما تكون سعة هذه التوربينات صغيرة جدًا، أو تكون في مرتبة محطات الطاقة الصغيرة أو الدقيقة بسبب وجود علبة تروس. تقيد علب التروس السعة القصوى بحوالي MW 10. ومع ذلك، فإن التصميم الأكثر شيوعًا في نطاق MW وأكثر هو ربط التوربين مباشرةً بمولد متعدد الأقطاب له عدد ثابت من الأقطاب. توربينات سترافلو هي توربينات مروحة محورية بتصميم مضغوط للغاية. يتم توصيل أطراف الشفرات بحلقة، يتم تثبيت أقطاب محرك المولد عليها. عداء التوربين ومحرك المولد عبارة عن جزء واحد. يقع الجزء الثابت للمولد خارج قناة المياه، متصلاً بمحيط الممر. توربين كابلان هو توربين ذو تدفق محوري حيث يدخل الماء إلى الممر عموديًا من الأعلى، انظر الشكل (5.2). يتكون الممر من 4 إلى 8 شفرات يمكن تثبيتها أو تعديلها حسب نوع الآلة. للحصول على الكمية الصحيحة واتجاه الماء، يستخدم توربين كابلان أيضًا غلافًا حلزونيًا وريش دعم وريش توجيه بنفس الطريقة التي يستخدمها توربين فرانسيس.



الشكل (5.2): توربين كابلان (صورة مأخوذة أثناء عمرة أحد توربينات الثمانية في محطة سد الفرات)

2.4.2 بوابات التوجيه الثابتة والمتحركة Wicket Gates

تحمل ريش الدعم وزن التوربين بأكمله وتغير اتجاه التدفق نحو ريش التوجيه. ريش الدعم ثابتة. تتحكم ريش التوجيه في كمية التدفق واتجاه التدفق الذي يدخل إلى شفرات المجرى. تدور ريش التوجيه حول محورها ويتم التحكم فيها بواسطة حلقة كبيرة تعمل على مزامنة حركة جميع ريش التوجيه في نفس الوقت. يمكن استخدام ريش التوجيه لإيقاف التوربين بأكمله عن طريق إغلاق ممر التدفق. في الشكل (6.2) يتم عرض مسار المياه عبر ريش الدعم وريش التوجيه.

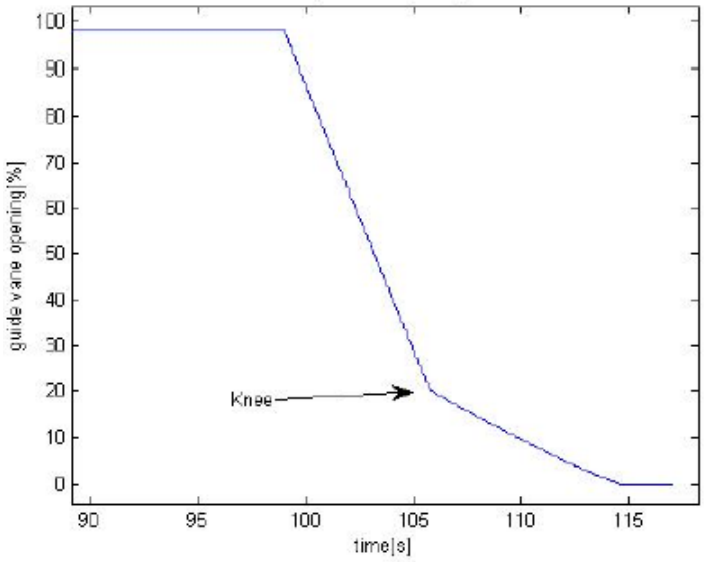


الشكل (6.2): مجرى المياه خلال بوابات التوجيه الثابتة والمتحركة
(Hillgren,2011, p:12)

1.2.4.2 أنواع مختلفة من إغلاقات ريش التوجيه

قد يتعرض التوربين في بعض الأحيان لأعطال كهربائية أو ميكانيكية أو هيدروليكية، وبالتالي يضطر إلى التوقف في حالة طوارئ. ومن أمثلة هذه الأعطال انقطاع مفاجئ عن الشبكة، أو ارتفاع غير متحكم فيه لسرعة الدوران أو

تسرب المياه في أي نقطة لا يُفترض أن يحدث فيها ذلك. أثناء إجراء الإغلاق، من الضروري أن يكون هناك توازن بين سرعة الدوران والتقلبات المؤقتة للضغط. إذا كان الإغلاق بطيئًا جدًا، فقد تكون سرعة الدوران أعلى من المطلوب. إذا كان الإغلاق سريعًا، فهناك خطر تكوين تجاويف أكبر وانفصال الأعمدة. يكون الاتصال بين الإغلاق وسرعة الدوران على النحو التالي. للتوقف السريع، يتم فصل المولد. عندما يتم فصل المولد، فإنه يتوقف عن كبح التوربين للحفاظ على سرعة الدوران منخفضة. بدلاً من ذلك، يتسارع نظام الدوران إلى سرعات دوران أعلى. في نفس الوقت، تعمل ريش التوجيه على تقليل كمية التدفق. يتم تحديد الوقت الذي يتعين على العداء أن يتسارع فيه والمستوى المسموح له بالتسارع إليه من خلال وقت إغلاق ريش التوجيه. بعد أعلى منحنى سرعة الدوران، فإن خسائر الطاقة في النظام الدوراني والماء ستبطئ سرعة الدوران. أثناء هذا الجزء من العملية تكون قوة الكبح في التوربين أكبر من المياه المحيطة. قد يعمل التوربين مثل المضخة ويجبر الماء على النزول في أنبوب السحب وتؤدي قوة رد الفعل إلى رفع النظام الدوراني. عند إجراء الإغلاق، من المهم أن يكون هناك توازن جيد بين ارتفاع سرعة الدوران وعوامل الضغط. بدلاً من سرعة الإغلاق الثابتة، فإن الإغلاق الأسرع في البداية سيقلل من ارتفاع سرعة الدوران وسرعة الإغلاق البطيء في النهاية ستقلل من عوامل الضغط. يُطلق على هذا التغيير في سرعة الإغلاق في الإغلاق اسم الركبة، انظر الشكل (7.2). مع الركبة، تقل سرعة الإغلاق عند الوصول إلى مستوى معين من فتح ريش التوجيه. يفضل أن تكون الركبة موجودة بعد ذروة السرعة الدورانية القصوى. يظهر مثال على الركبة في الشكل (7.2). أحد تأثيرات استخدام الركبة هو أيضًا وجود تدفق كبير عبر ريش التوجيه عند حدوث ضغوط منخفضة (قريبة من البخار). وهذا يعطي هامشًا إضافيًا لفصل العمود الكبير المحتمل. قد تقلل الركبة أيضًا من عمليات رفع العمود المفاجئة. من بين تأثيرات استخدام الركبة أيضًا وجود تدفق كبير عبر ريش التوجيه عند حدوث ضغوط منخفضة (قريبة من البخار). وهذا يعطي هامشًا إضافيًا لفصل العمود الكبير المحتمل. قد تقلل الركبة أيضًا من عمليات رفع العمود المفاجئة. (Hillgren,2011, p:13)



الشكل (7.2): الركبة في مخطط أغلاق بوابات التوجيه المتحركة

(Hillgren,2011, p:13)

هناك ثلاثة أنواع مختلفة من الإغلاق السريع لريش التوجيه. وتشمل:

1- الإغلاق والإيقاف السريع (SS): يعزل المولد كهربائيا عن الشبكة وتغلق ريش التوجيه بأسرع ما يمكن.

2- رفض الحمل (FL): يعزل المولد كهربائيا عن الشبكة وتغلق ريش التوجيه بأسرع ما يمكن. إلا أنه عندما تصل سرعة الدوران إلى أقل من 100٪، تفتح ريش التوجيه ببطء لجعل الآلة متزامنة وجاهزة للدخول في مرحلة مع الشبكة مرة أخرى.

3- الإيقاف السريع المتزامن (SAS): يتم تنظيم المولد بسرعة إلى وضع الخمول وبعد ذلك يتم نقله إلى التوقف الكامل.

3.4.2 بوابات التوجيه وشفرات التوربينات

تتميز توربينات كابلان بأن كلاً من بوابات التوجيه وشفرات التوربينات بإمكانية تغير زاوية فتحتها. ويتم تنسيق تنظيم الاثنين ودمجهما للحصول على أقصى قدر من الكفاءة. لكل موضع لبوابة التوجيه، يتم اختيار موضع شفرة التوربين

بحيث يزيد من نسبة الطاقة الناتجة وحجم المياه. يتم تثبيت بوابات التوجيه، التي تنظم تدفق المياه إلى حجرة التوربين، على حلقة بوابة التوجيه.

4.4.2 السيرفو (الأسطوانة الهيدروليكية)

يتم تنظيم موضع بوابة التوجيه عن طريق تدوير الحلقة التي يتم تثبيتها عليها. يتم وضع السيرفو الهيدروليكي الذي ينظم شفرات التوربين داخل محور التوربين، والذي يحمل أيضًا الأنبوبين اللذين ينقلان الزيت الهيدروليكي. يتم توصيل أجهزة الاستشعار التي تقيس زاوية الشفرة عبر محور التوربين لأنه يتم وضعه في منطقة محكمة الغلق. ومع ذلك، فإن حلقة بوابة التوجيه لا تلامس الماء ويمكن رؤية تعديلاتها بالعين المجردة. تتحكم مضخة واحدة لكل نظام هيدروليكي في ضغوط الزيت. كما ذكرنا سابقًا، فإن أوقات فتح وإغلاق بوابات التوجيه وشفرات التوربين ذات أهمية عند دراسة التحكم في تواتر الشبكة. يستغرق ضبط بوابات التوجيه بين الإغلاق والفتح الكامل عادةً من 5 إلى 15 ثانية. بصرف النظر عن القيود المادية في المحرك المؤازر، فإن محدد السرعة ضروري للحفاظ على تغيرات الضغط في penstock ضمن حدوده المحددة مسبقًا عند الإغلاق. يستغرق ضبط شفرات التوربين بين النقاط النهائية عادةً من 30 إلى 60 ثانية.

5.4.2 علاقة التوليف المثلى Optimal Cam Curve

يحدد منحنى الحدبة العلاقة بين زاوية بوابات التوجيه المتحركة وزاوية شفرة الدولاب العامل لتحقيق كفاءة مثالية بغض النظر عن معدل التدفق. تعد قياسات الكفاءة النسبية باستخدام طريقة وينتر–كينيدي لتحديد التدفق النسبي طريقة شائعة لتحديد منحنيات حدبة توربينات كابلان. وهي التي تعطي توربينات كابلان أهم ميزاتها والتي هي خاصية التنظيم المزدوج التي تسمح لها بتركيب مجموعة أكبر من الرؤوس. بفضل الشفرات القابلة للتعديل، فهي قادرة على ضبط زاوية المدخل للحفاظ على كفاءة عالية نسبيًا مع تفريعات مختلفة. تُستخدم توربينات كابلان الآن على نطاق واسع في جميع أنحاء العالم في محطات الطاقة الكهرومائية ذات التفريغ العالي والضغط المنخفض.

6.4.2 منظم (حاكم) السرعة Speed Governor

هو جهاز أو نظام يقوم بتنظيم سرعة التوربين لإعطاء تردد ثابت متولد لتغذية الشبكة. لهذا يقوم المنظم بتحكم بتدفق المائي باتجاه العنفة عند ضاغط محدد ووفق حمولة محددة حيث يراقب باستمرار تلك القيمتين ليعطي رد فعل تحكمي لتنظيم مجرى الماء بتزامن مع أي تغير للاستطاعة الحمل على المولد.

الفصل الثالث

الإطار النظري: التجارب العالمية و أدبيات البحث

1.3 حوادث محطات مجهزة بتوربين كابلان

الآلات هي جوهر كل منشآه،و إن فشل المعدات يحمل تكلفة ضخمة، والتي لا تقتصر على إهدار المال والوقت في إصلاح المعدات بشكل مباشر فقط، بل تشمل أيضًا الخسارة الاقتصادية للمعدات غير المستخدمة وتكلفة إعانات البطالة المفقودة. لتجنب الخسائر المفرطة والحد من اضطرابات الأعمال بسبب الآلات والمعدات التالفة، من الضروري معرفة أسباب فشل المعدات. حيث تفشل الآلات لأسباب متنوعة. بعض هذه الأسباب ترجع إلى عيوب مادية وفيزيائية، وعيوب في التصنيع والتجميع، بينما ترجع أسباب أخرى إلى عوامل خارجية وتشغيلية. كما أن تقادم للمعدات و الإهمال من قبل المشغلين في متابعة التجهيزات من ناحية الصيانات المستمرة وفي حالات كثيرة تتطلب استبدال التكنلوجية المستخدمة بأخرى متطورة. تأمن موثوقية واستقرار أكبر للمنظومة، وتمكن القائمين من أمكانية التغير في التصميم لتطويره، وإضافة ميزات جديدة، وتفادي الوقوع بمشكلات قد تؤدي إلى حوادث خطيرة.

وعليه وجب التدقيق في تلك الحوادث وتحديد اسبابها بالتفصيل و الحلول التي كان يجب تطبيقها لتفادي المشكلة وذلك بالاستفادة من التجارب العالمية وتفادي تكرارها. "العيوب التصميمية هي خصائص غير مرغوبة لمنتج أو نظام تنشأ نتيجة لعملية التصميم. تتضمن هذه العملية بناء المفهوم الأولي، وتحديد التكوين العام، والتفاصيل في التصميم (أي اختيار وتحديد المواد وعمليات التصنيع)" (Pohan, 2016) (James, J.S.;William, J.M, 2002) الأبعاد غير الكافية، مثل السُمك ونصف القطر، والقيود الوظيفية، والفشل في توقع ظروف الخدمة، وما إلى ذلك، كلها أمثلة على عيوب التصميم. ولأن هذه الأنواع من عيوب التصميم غالبًا ما تكون مجرد تضليل، لا يكون الجزء دائمًا غير كامل لمجرد أنه تم تصميمه وصنعه بخصائص أقل من المثالية. لهذا وجب بشكل مستمر التدقيق في نظام التشغيل المستخدم وفي المنظومة ككل من حيث التكنلوجيا المستخدمة حيث أن منظومة التشغيل والتحكم جزء مهم من التصميم وهي الجزء المادي والجزء التخطيطي التنظيم. ذو بعد يجب التدقيق فيه كما يتم التفتيش على العيوب والحالة الفني والمادية للشفرة وفق الاختبارات اللائتلافية فإن تشغيل وتحكم المنظومة له طرق يتم تحقق من خلالها

من أداءه ومنحني كفاءة عمله. "تم تصميم التوربينات الكهرومائية لتحويل الطاقة المرتبطة بتحريك المياه إلى طاقة ميكانيكية. يتم تحقيق ذلك باستخدام سلسلة من الشفرات المعدنية المتصلة بعمود مركزي. وكما علمتنا التجربة، يجب علينا أن نعلم جيل الطاقة الكهرومائية الجديد أن العديد من محطات الطاقة كانت تعاني من مشاكل وحوادث، بعضها أدى إلى الوفاة وتكاليف مالية كبيرة. إن الافتقار إلى التصميم الفعال وإجراءات المراجعة، أو في حالة المحطات الصغيرة، الافتقار إلى التصميم المناسب، هو أحد أسباب هذه الحوادث" (Bryan, 2012) وعليه تم استعراض بعض الحوادث والاستفادة من التجارب لتلك المحطات ومنها:

1.كان أحد الحوادث في محطة للطاقة الكهرومائية بسبب عيوب التصميم في محطة ستوجون للطاقة الكهرومائية، الواقعة في شمال السويد (Nicklas, H, 2011). تم إجراء اختبارات مختلفة بسبب تجديد المولد والتوربين. أشارت الملاحظات الأولية إلى أن مطرقة مائية عكسية كسرت شفرة المحمل وغطاء الرأس. لإجراء تحليل شامل، يجب مراجعة التصميم، وإعادة البناء أو التعديل أو التوسيع.

2. وقع حادث لتوربين أثناء إجراء اختبار التشغيل في محطة توليد أكاتس التي أعيد بناؤها في السويد في عام 2002.(Akkats Power Station, Vattenfall's European Energy Company web site. 2002). وعلى الرغم من إجراء إصلاحات واسعة النطاق، إلا أنها لم تتمكن من استعادة سوى 80٪ من قدرتها على توليد الطاقة. أثناء رفض الحمل، تغلق ريش التوجيه بسرعة. لذلك، انهار فصل عمود الماء وتسبب في رفع الممر الذي يحمل 700 طن من العمود ودوار المولد. في هذه الحالة، كان لا بد من إجراء جميع خطوات التصميم بعناية مرة أخرى.

3.كان تركيب شركة تاتا للطاقة محطة بهيرا هو أول منشأة لتخزين الماء بواسطة المضخات في الهند، افتتح في عام 2002 (Nicklas, H, 2011).. ونظرًا لخصائصه غير المستقرة، فقد أحدث توربين المضخة رنينًا في أنبوب الضخ أثناء التشغيل التجريبي، مما أدى إلى تمزق أنبوب الضخ ووفاة أربعة أفراد. لقد كان من الممكن تجنب التحديات غير المتوقعة إذا تم اتباع إجراءات التصميم والمراجعة المذكورة في مرجع (Nicklas, H, 2011).

4.حدث رفع خطير للممر في عام 2003 في محطة تيانهوانغبينج لتخزين الطاقة بالضخ، بمقاطعة تشجيانغ، الصين، وهو أول حادث من هذا القبيل يتم الإبلاغ عنه أثناء قبول الحمل (Bryan, 2008). في هذا الوقت، تم مزامنة الوحدة رقم 2 وتشغيلها في وضع توربيني للتشغيل التجريبي. في هذه المحطة، تم نقل المياه إلى ستة توربينات عكسية بقوة 300 MW من خلال نفقين رئيسيين بقطر 7 أمتار، يتفرعان أمام محطة الطاقة إلى ثلاثة أنابيب بقطر 3.2 متر. وكان قطر كل من أنفاق الأنابيب الستة 4.4 متر. إن ربط ثلاثة أنابيب بقطر 7 أمتار بأنبوب واحد يجعل الخصائص الهيدروليكية أقل استقرارًا. إن رفض الحمل المتزامن أمر خطير بشكل خاص؛ حيث يمكن أن تتسبب ثلاث وحدات تمر عبر منطقة غير مستقرة في نفس الوقت في حدوث ارتفاع مفاجئ غير متوقع (Nicklas, H, 2011). لم يتم تناول هذه المشكلة في دراسة الجدوى أو التصميم العام؛ كان ينبغي تناولها في التصميم التفصيلي (بعد تقديم العطاءات) والتحقق منها أثناء التشغيل.

5.كانت مشكلة رئيسية أخرى هي نظام توربينات الضخ في باجينا باستا في صربيا. لتحقيق النجاح الاقتصادي والاجتماعي والتقني والبيئي، يتطلب تصميم وبناء وتشغيل أي محطة للطاقة الكهرومائية العديد من التفاصيل التي يجب تصورها بشكل فعال وتنفيذها بدقة وتنسيقها بعناية. بعد تقديم العطاءات، قام فريق التصميم بمراجعة محطة التخزين ذات الضخ الأعلى في ذلك الوقت بدقة، كما قاموا أيضًا بدراسة بيانات الشركات المصنعة؛ وفي النهاية، تمت الموافقة على جميع مراحل التصميم (Pejovic, 2011).

6.إن كارثة محطة الطاقة سايانو شوشينسكايا هي واحدة من أخطر الكوارث التي وقعت في محطات الطاقة الكهرومائية. فقد انهار سد سايانو شوشينسكايا في روسيا، بالقرب من سايانوجورسك، بشكل كارثي، كما هو موضح في الشكل (1.3)، مما أدى إلى غمر قاعة التوربينات ومقتل 75 شخصًا (Hasler, J.P, 2010) وبناءً على ذلك، تم إصلاح التوربين رقم 2 من يناير إلى مارس 2009، وتم تركيب نظام تحكم أوتوماتيكي جديد لإبطاء أو تسريع التوربين لضبط الناتج وفقًا للتغيرات في الطلب على الطاقة (Accident at Russia's Biggest Hydroelectric

(Plant, Halffast. 2012). ويبدو أن هذا التعديل، والتعديل في تصميم المشروع، والمعلمات لم يتم تطبيقه في التشغيل والعمليات التجريبية (Nicklas, H, 2011). وعلى الرغم من إجراءات التصميم الدقيقة، لم يتم الكشف عن المطرقة المائية الخطيرة أثناء مراحل التصميم؛ ولحسن الحظ، تم منع الآلة من الوقوع في مشكلة المنطقة غير المستقرة، ولكن النظام لا يزال على وشك الكارثة إذا فشل نظام التحكم. كانت المطرقة المائية هي مصدر القوة الهيدروليكية، التي دمرت التوربينات والمولدات كما في الانفجار. ومن منظور ميكانيكا الموائع والهيدروليكا، يعتقد الباحثون أن المطرقة المائية العكسية هي مصدر أكثر احتمالية لمثل هذه القوة.

خطر المطرقة المائية هو خطر جدي وسريع الحدوث وله أثار كارثية حتمية ويجب دائما العمل على تجنب وقوعه والحماية منه وذلك وفق التصاميم الخاصة بالتوربين والبوابات والمجرى المائي الخاص بالتوربين. كما أن التدقيق والانتباه لسيناريوهات حدوث المطرقة المائية يجب مراجعتها لأجل تجنبها والحماية منها في التشغيل والعمليات التجريبية. إن الحلول لأجل تجنب والحماية من الصدمة المائية هي في الواقع تكون بتصميم الدقيق للمحطة بشكل عام وللمجاري والبوابات المائية بشكل خاص.

هنالك الكثير من السدود والمحطات الكهرومائية تواجه خطر المطرقة المائية والتي تهدد بوقوع كارثة في إي لحظة. حيث لا يقع كل اللوم على سوء التصميم أو الدراسة لأن إجرائيات التشغيل وثوقية منظومة التحكم بالتوربين لها حصة لا يستهان بها من أمكانية تحقيق شروط حدوث المطرقة المائية.



الشكل (1.3): آثر الدمار الناتج عن كارثة محطة سد سايانو–شوشينسكايا في روسيا (Hasler, J.P, 2010)

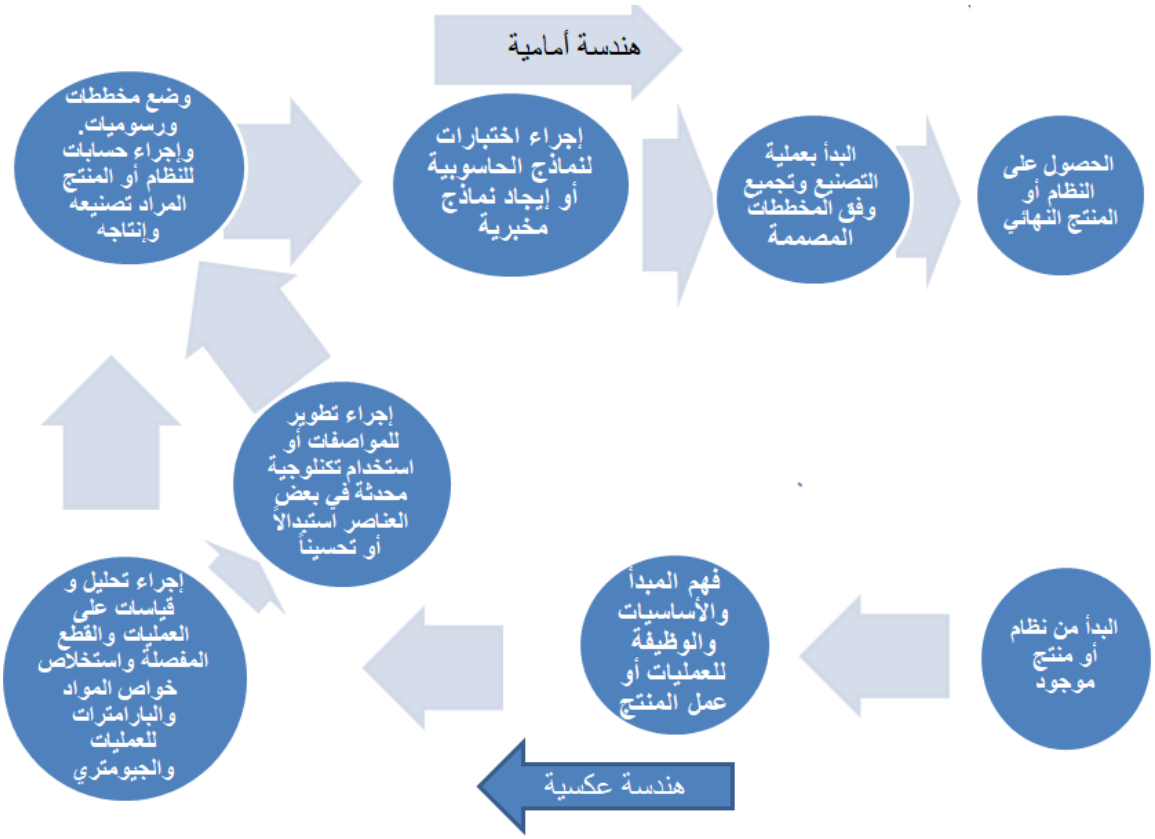
وقد خلصت الدراسات الاستقصائية التي تمت مناقشتها في عامي 2009 و2007 في قسمي اللجنة والنقاش الشفوي لمعهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات IEEE في أمريكا إلى أن أكثر من 50% من محطات الطاقة الكهرومائية واجهت مشاكل في التشغيل، على الرغم من حقيقة أن تكنولوجيا استخدام الطاقة الكهرومائية قد وصلت إلى درجة عالية من النضج، وقد ثبت فعليا أنها تعمل بشكل موثوق وفعال في العديد من أنواع محطات الطاقة الكهرومائية المختلفة (Pejovic, S, 2022). على مدى العقود الماضية، كانت هناك عدة حالات حيث تم المساس بأداء مشاريع الطاقة الكهرومائية الجديدة بسبب التشغيل غير المرضي لبعض المكونات المرتبطة بالتصميم الهيدروليكي للمرافق. هناك عدد قليل جدًا من المقالات التي تحدد أنواع العيوب التي واجهتها، وتقترح بعض العلاجات، المعرفة المتراكمة في القرون الماضية لم يتم تقديمها بعد في المنشورات والمعايير والإرشادات والتوصيات. إن العديد من القائمين

الحاليين على مشاريع الطاقة الكهرومائية، ومشاريع الطاقة المساعدة، وما إلى ذلك والذين لديهم أكثر من 50 عامًا من المعرفة يقتربون من سن التقاعد. وهناك مخاوف من أن نقل المعرفة إلى جيل الطاقة الكهرومائية الجديد من الخبراء يبدو غير كافٍ. وهذا يؤدي إلى محاولة الشركات المصنعة والمهندسين عديمي الخبرة تصميم وتشغيل المشاريع الهيدروليكية اتخاذ طرقًا مختصرة في عملية التصميم. وغالبًا ما تؤدي هذه التصميمات إلى مشاكل واسعة النطاق يمكن أن تعرض جدوى المشروع على المدى الطويل للخطر. لذا، ما لم يتم اتخاذ إجراءات محددة للحفاظ على الكفاءات وتحسين نقل المعرفة المتعلقة بتصميم وبناء وتشغيل محطات الطاقة الكهرومائية، فإن مستقبل الطاقة الكهرومائية في جميع أنحاء العالم سيكون في خطر.

2.3 مناقشة الأدبيات

بعد استيعاب الأبحاث والتجارب السابقة وتحديد العناصر الواجب دراستها من المنظومة الهيدروليكية المتحكمة في بوابة التوجيه المتحركة وشفرة الدولاب العامل، وبالاستفادة من الميزات التي تقدمها الهندسة العكسية وبتطبيق أدواتها لتحليل المنظومات و استخلاص البيانات والمعطيات من العناصر المفردة والمجمعة للمنظومة ونمذجتها ليسهل دراستها وتحليل أدائها ومن ثم تطويرها واختبار التطوير المقدم وفق محاكاة حاسوبيا تم بناء نموذج للمنظومة المطورة ثم اختبار أداء المنظومة المطورة ومقارنتها مع نتائج المحاكاة.

هي طريقة تستخدم بشكل شائع في تطوير المنتجات وتصنيعها وصيانتها، واستخراج البيانات من الأشياء أو الأنظمة المادية وتحويلها إلى تنسيقات رقمية.الهندسة العكسية مفيدة بشكل خاص للحصول على فهم شامل لمنتج أو آلة من خلال تشريح وإعادة بناء المنتجات أو الأجزاء، بحيث يمكن تحديد نقاط الضعف وعيوب التصميم وتصحيحها. وهذا يجعل إصلاح أو إعادة بناء المنتجات أسرع وأكثر فعالية من حيث التكلفة. تُستخدم الهندسة العكسية بشكل واسع في الشركات لتحليل منتجاتها الخاصة وتحسينها أو تحديث المنتجات القديمة. والذي يشكل عاملا مهماً في تفادي الكوارث في المنشآت او المنتجات الحيوية (Buonamici, F. 2016).



الشكل (2.3): مفهوم الهندسة الأمامية مقارنة بالهندسة العكسية

المصدر: إعداد الباحث

1.2.3 خوارزمية PID

كما تم اعتماد الخوارزمية التحكمية PID لتطبيقها على منظم (حاكم) توربين ديجيتال مقترح لأجل التحكم الدقيق في موقع ودقة إزاحة الاسطوانة الهيدروليكية (سيرفو) المتحكم بميكانزيم تحديد زاوية فتح بوابة التوجيه المتحركة والأسطوانة الهيدروليكية (سيرفو) المتحكم في ميكانزيم تحديد زاوية شفرا ت الدولاب العامل وأيضا تحويل عمل كلا الصمامين الاتجاهيين الهيدروليكيين المتحكمين في كلا السيرفو المذكرين سابقا ليعمل بنمط محاكي لصمام تناسبي Proportional Valve.

يمكن أن يكون PID متحكم مستقل بذاته وله مكونات فيزيائية كالذي تم استخدامه في منصة الاختبار الثانية في الفصل الخامس من هذا البحث ويمكن ان يكون خوارزمية تحكمية تبرمج على منظومة (Programmable Logic Control) PLC. يولد متحكم PID القياسي خرجه كمجموع ثلاثة أجزاء: جزء متناسب (P) وجزء تكاملي (I) وجزء مشتق (D). يتناسب الجزء P مع الخطأ بين موضع الهدف والموضع الفعلي، ويمثل الجزء I مجموع أخطاء الموضع بمرور الوقت وهو ضروري لإزالة الإزاحة والاضطراب المستمر في خرج الحالة المستقرة لنظام التحكم. يمثل الجزء D من PID اشتقاق خطأ الموضع وهو في الواقع الخطأ بين السرعة المستهدفة والسرعة الفعلية مضروبًا في بعض المعاملات. إن مساهمة معامل المشتق في خرج المتحكم تتناسب مع معدل التقارب أو التباعد بين الموضع المستهدف والموضع الفعلي. ومع ذلك، يمكن لهذا الجزء من متحكم PID الحد من أداء حلقة التحكم بل وحتى تقليله من خلال توليد خرج متحكم مشوش. وظائف معلمات PID الثلاثة (P، I، D) في التحكم في العملية هي كما يلي:

1. المكون النسبي (P): يقارن إشارة التغذية الراجعة أو متغير العملية الفعلية بقيمة Set Point. ثم يتم ضرب قيمة الخطأ الناتجة بثابت تناسبي (Kp)، للحصول على خرج up(t) يتناسب مع الخطأ اللحظي e(t)، بحيث إذا كان حجم الخطأ الحالي صفرًا، فسيكون خرج المكون النسبي لـ PID صفرًا.
2. المكون التكاملي (I): هذا المكون مطلوب لإزالة خطأ الحالة المستقرة – الإزاحة بين قيمة Set Point ومتغير عملية التغذية الراجعة – الموجود مع المكون النسبي. فهو يدمج خطأ الحالة المستقرة على مدى فترة زمنية حتى يصل حجم إشارة الخطأ إلى الصفر. ويمتد التكامل من بداية حلقة التحكم إلى الوقت الحاضر.
3. المكون المشتق (D): نظرًا لأن المكون التكاملي لا يمكنه التنبؤ بالخصائص المستقبلية لإشارة الخطأ – بل يتفاعل كلما تغيرت نقطة الضبط – يتم استخدام معلمة مشتقة للتغلب على هذه المشكلة. يعتمد ناتجها uD(t) على معدل التغير اللحظي لخطأ النظام فيما يتعلق بالوقت، والذي يتم ضربه بعد ذلك في KD (ثابت المشتق).

من خلال الجمع بين مخرجات المكونات الثلاثة، تقوم خوارزمية PID بإخراج مخرجات متحكم بها (u(t) أو استجابة مجمعة يتم تطبيقها على أجهزة التحكم النهائية في المصنع لتغيير مخرجات النظام/العملية حسب الرغبة.

الشكل الأساسي لوحدة التحكم المشتقة التكاملية النسبية هو

$$U(s) = \left(K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s\right) E(s) \qquad (0.3)$$

حيث يكون خطأ التحكم e(t) = r(t)−y(t) ، و Kp هو المكسب النسبي لوحدة التحكم، و Ki هو مكسب التكامل و Kd هو مكسب المشتق. غالبًا ما يُطلق على معكوس Ki وقت التكامل Ti، لوحدة التحكم. ومع ذلك، في هذا البحث، يتم استخدام Ti للإشارة إلى ثابت وقت التغذية الراجعة لوحدة التحكم مع الانخفاض الذي تم تنفيذه في محطات الطاقة الكهرومائية، لذا فإن Ti = 1/Ki يحد الانخفاض من المكسب الثابت لوحدة التحكم.

لأجل تنفيذ خوارزمية الPID يجب أن تدمج بالمنظم الديجيتال المقترح والذي يكون PLC الجزء الأساسي فيه لهذا يجب بداية تعريف وحدة التحكم المنطقية القابلة للبرمجة (PLC) والتي تعد جهاز مادي ذو حالة صلبة يتكون من مجموعة من عدة مكونات مادية وبرمجية، في حين يمكن تعريف وحدة التحكم النسبية التكاملية المشتقة (PID) بأنها جهاز تحكم مستقل أو مجرد خوارزمية تحكم – بنية رياضية. يمكنك كتابة برنامج لتنفيذ خوارزمية PID. قانون تحكم معين وتنزيله على معالج PLC، لاستخدامه في التحكم في نظام أتمته الحلقة المغلقة للمنظومة.

من أجل تطوير المنظم الديجتال لسيرفو المدروس يتوجب بالبداية:

1. وضع موديل خاص بالتوربين المدروس الذي هو توربين كابلان والذي قد قدم في السابق العديد من الدراسات التي شكلت موديل سوف يتم الاستفادة منها في هذا البحث.

2. وضع موديل للمنظومة لمدروسة والتي يراد إدخال مدخلاتها لخوارزمية PID ليصار إلى معالجة الخطأ وإعطاء مخرجات تقدم للمنظم الديجتال ليحافظ على عمل المنظومة بكفاءة واستقرار. سوف يتم تقديم موديل لمنظومة الصمام الهيدروليكي التوجيه والمتحكم بالسيرفو (الاسطوانة الهيدروليكية).

2.2.3 نموذج التوربين– المولد The turbine-governor model

يرتبط نموذج التوربين–المنظم بمولد أو مولدين متزامنين ويحدد القوة الميكانيكية للعمود (Pmech) أو عزم الدوران (TM) لنموذج المولد. في نماذج التوربينات القديمة من Simpow ، تتكون التوربينات من نموذجين هما:

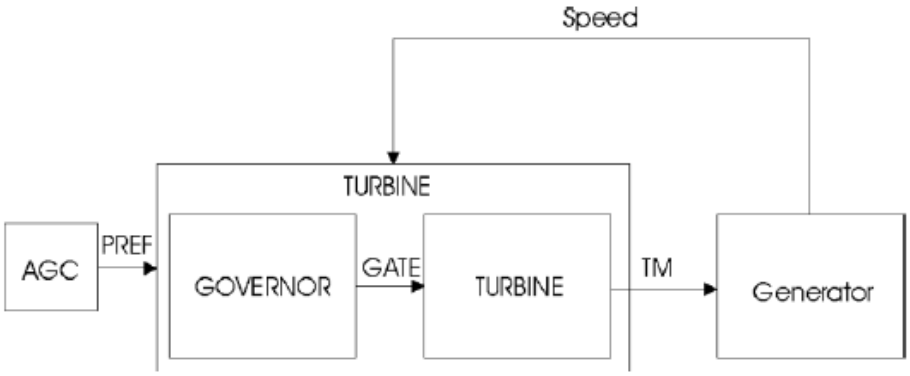
–منظم واحد (المدخل = السرعة، المخرج = البوابة/بوابة التوجيه/)

–توربين واحد (المدخل = البوابة، المخرج=TM)

في محاكي الديناميكية الجديد، تتضمن نماذج التوربينات جزء المنظم.

–توربين واحد (المدخل = سرعة، المخرج=TM)

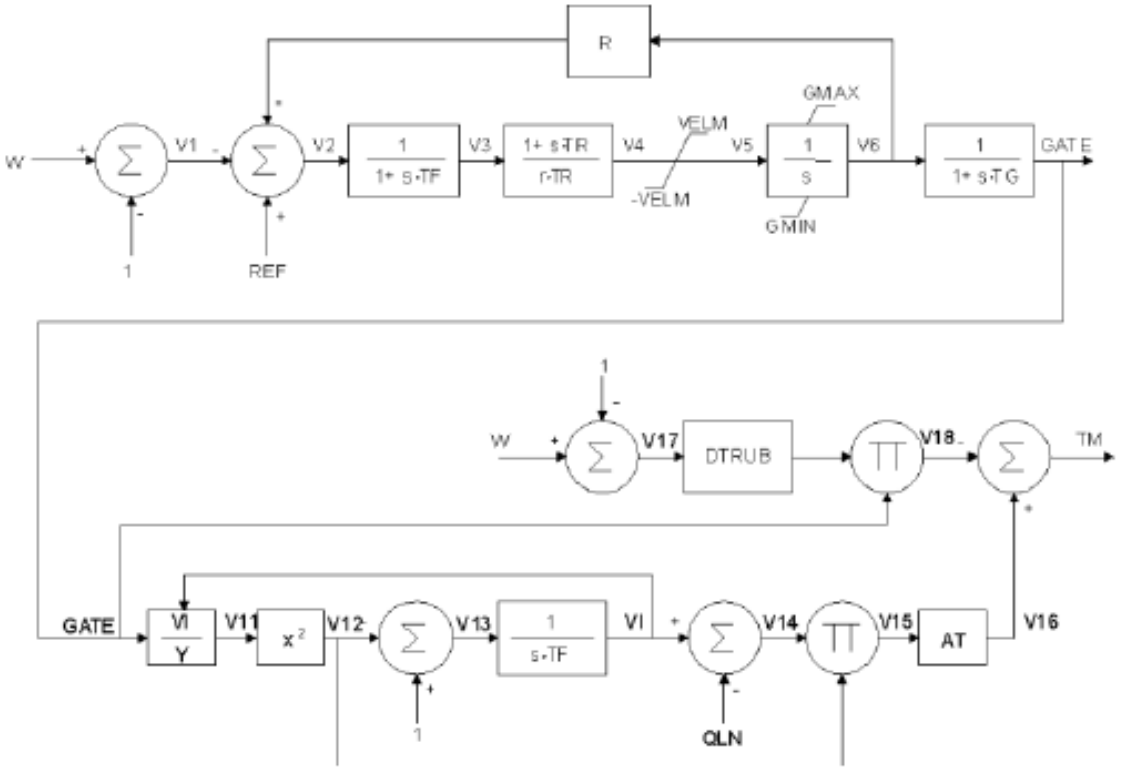
اختار ENTSO-E ، وهو اتحاد مشغلي أنظمة نقل الكهرباء الأوروبية، معايير نموذج المعلومات المشترك (CIM) للجنة الكهرو تقنية الدولية (IEC) كأساس لمعايير CIM الخاصة به. تهدف هذه المعايير إلى ضمان موثوقية نماذج الشبكة وتبادل المعلومات السوقية. في عام 2013، اعتمدت ENTSO-E معيارًا جديدًا لتبادل نماذج الشبكة يسمى معيار تبادل نموذج الشبكة المشترك (CGMES) يعد CGMES مجموعة فرعية من معايير IEC CIM تنتمي إلى (IEC CIM16) تم تطويره لتلبية المتطلبات الضرورية.



الشكل (3.3): مخطط صندوقي لمجموعة التوليد توربين–مولد

(معيار ICE CIM)

يبين الشكل (4.3) يورد هنا موديل مبسط معتمد من قبل معهد مهندسي الكهرباء والإليكترون IEEE



الشكل (4.3): مخططاً صندوقياً تحكمياً لمجموعة التوليد توربين–مولد (معيار ICE CIM)

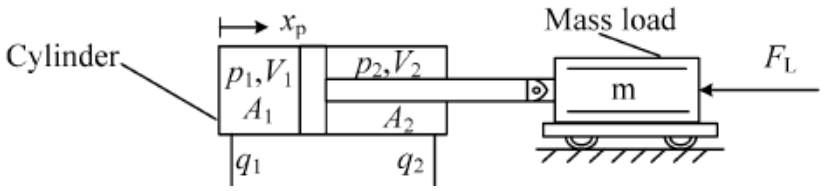
الجدول (1.3): بارامترات المخطط الصندوقي التحكمي لمجموعة التوليد توربين–مولد (معيار ICE CIM)

Parameters

NAME	Type	Description
DTRUB	PU	Turbine damping factor
TW	Second	Water inertia time constant
AT	PU	Turbine gain
QNL	PU	No-load flow at nominal head
RBIG	PU	Permanent droop
RSMALL	PU	Temporary droop
TR	Second	Washout time constant
TF	Second	Filter time constant
TG	Second	Gate servo time constant
VELM	PU	Maximum gate velocity
GMAX	PU	Maximum gate opening
GMIN	PU	Minimum gate opening

3.2.3 موديل الأسطوانة Cylinder Modal

العمل المقدم في هذا البحث يبدأ بتشكيل نموذج رياضي للأسطوانة الهيدروليكية (السيرفو) mathematical hydraulic cylinder وتطبيق الخوارزمية PID عليه وفق مبدأ مقارنة الخطأ e.



الشكل رقم (5.3): يوضح نموذج الجسم الحر للأسطوانة الهيدروليكية

للحصول على نموذج رياضي للأسطوانة يمكن لمعادلة التدفق أن توضح العلاقة بين الضغط والتدفق الكلي باستخدام طريقة bulkcavity-node (Cheng R, Yao P. 2011) توضح بالمعادلة (1.3):

$$\boldsymbol{p} = \int \frac{ß_e}{V} \sum Q_i dt \qquad (1.3)$$

حيث $\sum Q_i$ هو التدفق الكلي للتجويف؛ p هو ضغط التجويف؛ $ß_e$ هو معامل مرونة الزيت؛ V هو حجم التجويف الخالي من القضبان يتم إنشاء نموذج النظام الهيدروليكي باستخدام

طريقة التجويف–العقدة–السائبة وفقًا للرسم التخطيطي للنظام الهيدروليكي، ويتم التطبيق على التوالي، كما هو موضح في المعادلة (2.3). معادلة تدفق التجويف الخالي من القضبان:

$$\frac{dp_w}{dt} = \frac{\beta_e}{V_{w0} + A_w x}(\bar{Q}_{hsv} - Q_x - A_w \dot{x}) \qquad (2.3)$$

حيث $ß_e$ هو معامل مرونة الزيت، Q_{hsv} هو التدفق الذي يتدفق إلى تجويف القضيب؛ Q_x هو التدفق الذي يتسرب من تجويف القضيب إلى تجويف بدون قضيب؛ V_{wo} هو الحجم الأولي لتجويف بدون قضيب؛ A_w هي مساحة الإجهاد الفعالة للمكبس في تجويف بدون قضيب. معادلة تجويف القضيب:

$$\frac{dp_y}{dt} = \frac{\beta_e}{V_{y0} + A_y x}(Q_x + A_y \dot{x} - Q_{out}) \qquad (3.3)$$

حيث A_y هي مساحة الإجهاد الفعالة للمكبس في تجويف القضيب؛ V_{yo} هو الحجم الأولي لتجويف القضيب، Q_{out} هو التدفق الذي يتدفق خارج تجويف بدون قضيب .معادلة توازن القوة قانون نيوتن الأول:

$$m\ddot{x} = p_y A_y - p_w A_w - mg - \beta_c \dot{x} \qquad (4.3)$$

حيث m هي الكتلة المكافئة للمكبس؛ ß هو معامل التخميد اللزج للزيت؛ g هو تسارع الجاذبية.

$$m\ddot{x} + \beta_c \dot{x} = F_{total} \qquad (5.3)$$

بتطبيق لابلاس نحصل على دالة الانتقال:

$$\frac{X(S)}{F(S)} = \frac{1}{ms^2+\beta s} \tag{6.3}$$

تُعرف قيمة التغذية الأمامية بأنها إشارة التحكم المباشر، ويتم استخدام خوارزمية التغذية الراجعة لتعويض الخطأ بين الإدخال المرجعي والمخرجات الواقعية للتعامل مع عدم اليقين المرتبط بالنظام الهيدروليكي. يتم استخدام التحكم PID كخوارزمية تغذية مرتدة بفضل سرعته وتأثيره وتطبيقه الواسع للتعويض عن الحمل المتغير والاضطراب. يمكن التعبير عن خطأ الموضع بين المرجع والواقع وفق:

$$e = x_f - x_r \tag{7.3}$$

حيث x_f هو الإزاحة المرجعية؛ x_r هو الإزاحة الواقعية للأسطوانة الهيدروليكية. يكون خرج التحكم PID هو

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau)d\tau + K_d \frac{d}{dt}e(t) \tag{8.3}$$

Kp هو معامل النسبي لوحدة التحكم، و Ki هو معامل التكامل و Kd هو معامل المشتق. يوجد عدة طرق لإيجاد المعاملات السابقة منها تجريب ومنها محوسب. قدمت دراسة لإيجاد المعاملات المثلى الخاصة بصمام الهيدروليكي التناسبي (Jin Bo,2013) سوف يتم استخدام نتائج تلك الدراسة لقيم المعاملات. حيث أن تحديد قيم مثلى لتلك المعاملات يمكنا من الحصول على نظام بلا تأخير زمني Fast Rise Time كما وتقليل وحتى محاولة إلغاء حالة Over shoot والأهم أن نلغي حالة Steady−State−Error والتي تعبر عن قيمة الفرق بين القيمة المرجعية x_f والقيمة المراد تحقيقها x_r

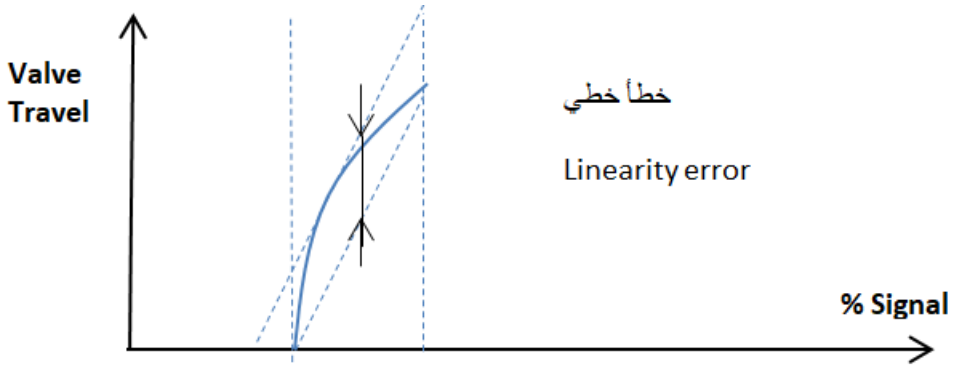
4.2.3 دراسة خطأ الإزاحة للأسطوانات الهيدروليكية

تقوم كل الدراسة على التحكم بزاوية فتحة البوابات بشكل دقيق ومتناغم ومستقر والذي يحقق من خلال التحكم الدقيق بالموقع والإزاحة للأسطوانة الهيدروليكية (سيرفو) ولتحليل عدم فعالية الدارة المفتوحة التحكمية أو أوامر التحكم

الأمامية دون وجود تغذية راجعة أو ما يسمى بالدارة التحكمية المغلقة وجب تحدد مسببات الخطأ أو الذي تم تعريفه سابقا بالفرق بين القيمة الإزاحة المطلوبة وقيمة الإزاحة الفعلية.

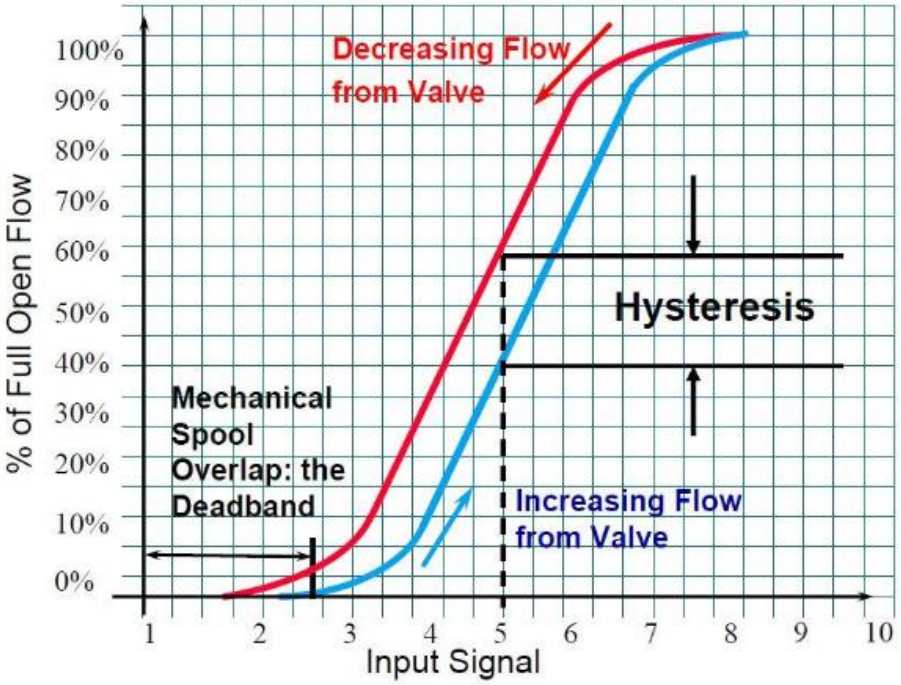
من أجل ذلك تم تحليل فعالية عمل الصمام الهيدروليكي التوجيهي من نمط off/on ومعوقات أو مسببات الخطأ في دقة التحكم وأسلوب تجاوزها. وتدرج تباعا:

- الخطأ الخطي Linearity error: يمكن أن يعتبر نظام التحكم بأسطوانة واحدة بشكل مباشر من قبل صمام تحكم هيدروليكي توجيهي نظاماً خطياً ولكن ليس مثاليا بسبب وجود الخطأ الخطي والذي يعبر عنه بانزياح التناسب الطردي للمتغيرين وفق دالة خطية مثالية ليصبح عمل دالة في مجال عرضه يسمى بالخطأ الخطي يمكن التعبير عن ذلك وفق الشكل (6.3) في حالة النظام الهيدروليكي المدروس فإن أمر التحكم الموجه لصمام لتغير وضعه وفتح الزيت باتجاه الأسطوانة (السيرفو) لتغير موقعها (مقدار الإزاحة) يعتمد على مبدأ زمن الأمر، والذي يتوقع منه تقديم إزاحة تقابل الزمن الذي تم تفعيل الأمر فيه من قبل المنظم. ولكن بسبب الخطأ الخطي فإن ذات الأمر يمكن أن يعطي نتائج مختلفة (مقدار إزاحة مختلف) حتى ولو بمقادير صغيرة لكنها ملحوظة.



الشكل (6.3): الخطأ الخطي Linearity error

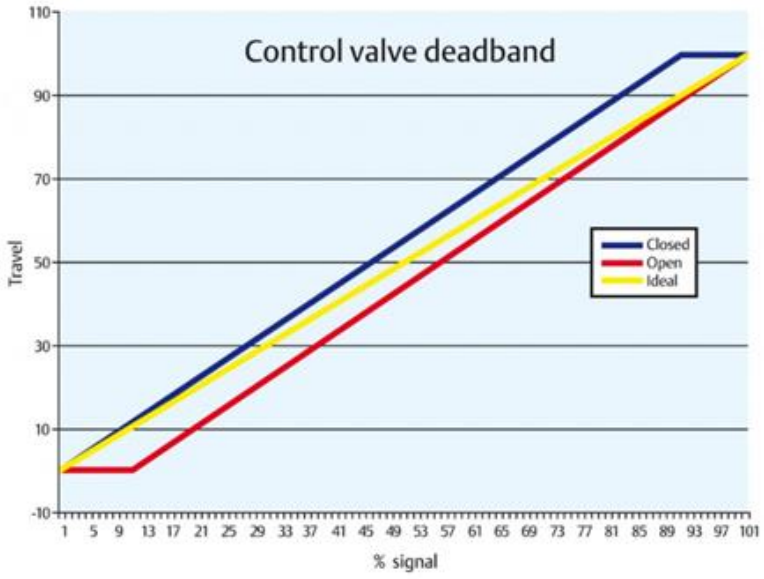
- التباطؤ Hysteresis: أحد الأسباب الرئيسية لعدم خطية صمام التحكم. ينشأ نتيجة الاحتكاك بين بكرة الصمام spool والجسم. يتسبب الاحتكاك الساكن داخل الصمام في حدوث تأخر زمني ومنطقة ميتة تؤثر سلبًا على دقة واستقرار خرج نظام التحكم في الصمام (Wang.2016). التأخر الزمني هو التأخير في أداء الصمام بين توليد وإزالة أوامر الإدخال. يجعل من الصعب الحصول على التحكم الدقيق في الموضع والسرعة للنظام النسبي. عند ارتباطه بصمام، فإن التباطؤ هو الفرق بين موضع الصمام في الشوط العلوي وموضعه في الشوط السفلي عند أي إشارة إدخال معينة. لكي يكون التباطؤ حقيقيًا، يجب أن يتحرك الصمام في جميع الأوقات. غالبًا ما يحدث التباطؤ بسبب درجة عالية من الاحتكاك الساكن داخل الصمام. يوضح الشكل (7.3) خطأ التباطؤ. (Vuong Vo. 2017. P.1)



الشكل (7.3): منحني التباطؤ Hysteresis

(Vuong Vo. 2017. P.1)

- النطاق الميت Dead band: من ناحية أخرى، يحدث النطاق الميت عندما لا تكون هناك حركة، ويحدث عادةً عندما يغير الصمام اتجاهه. مصطلح النطاق الميت يشار إليه أيضًا باسم التباطؤ أو التفاضلي أو إعادة الضبط هو الخواص الميكانيكية الفيزيائية التي تحدد الفرق بين الضغط الذي يتم عنده تنشيط الصمام (نقطة الضبط) والضغط الذي يتم عنده إلغاء تنشيط الصمام (نقطة إعادة الضبط). يوضح الشكل (8.3) منحني النطاق الميت.



الشكل (8.3): منحني النطاق الميت

الفصل الرابع

عينة البحث والدافع لتطوير الجزئيات المدروسة

1.4 جزئيات عينة البحث

تم دراسة حالة سد الفرات كسد مائي على نهر الفرات أكبر أنهار سورية وهو أكبر مشروع حيوي في تاريخ سوريا المعاصر، وهو ثاني أكبر سد في الوطن العربي بعد السد العالي في مصر. تم دراسته من قبل معهد دروبروجكت السوفيتي. ويحوي محطة كهرومائية أقيمت عند الضفة اليمنى تولد الطاقة الكهربائية من خلال ثمان توربينات (كابلان 110 MW) تقدم قدرة توليد 880 MW يقع السد في مدينة الطبقة غرب مدينة الرقة 50 كم. وشكّل خلفه بحيرة اصطناعية طولها 80 كم ومتوسط عرضها 8 كم ومساحتها 640 كم2، وتخزن كمية من الماء تصل إلى 11.6 مليار متر مكعب(Hatahet, Shaar, 2021) يوضح الشكل (1.4) الموقع الجغرافي لسد.

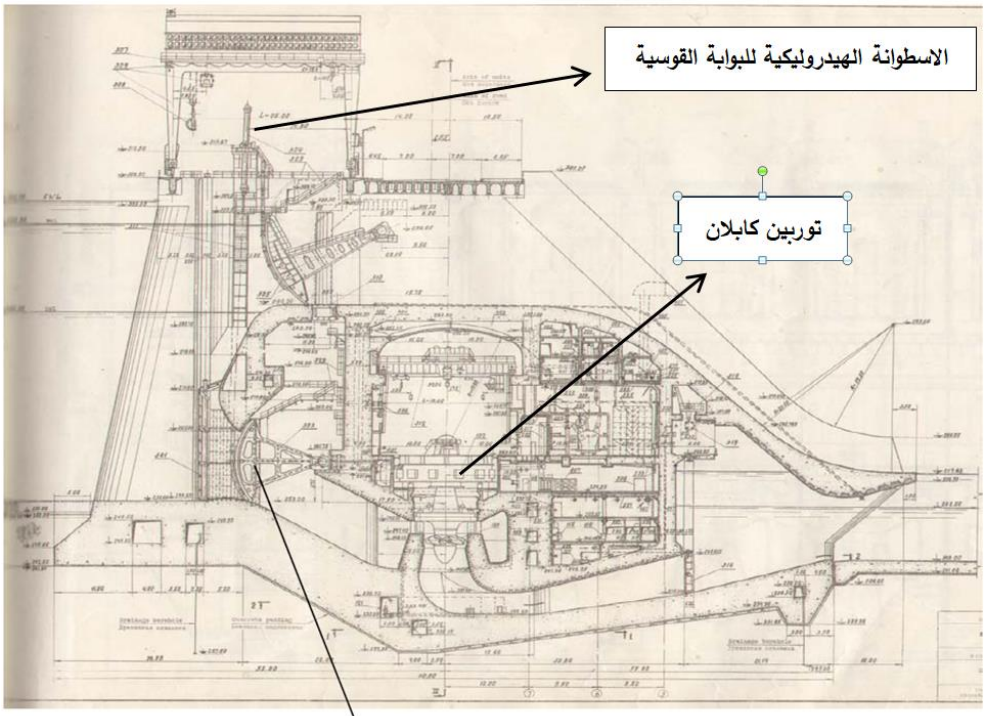


الشكل (1.4): الموقع الجغرافي لسد الفرات

المصدر Googlearth.web

أهمية سد الفرات تأتي من أهدافه الاستراتيجية المساهمة في التنمية الاجتماعية والاقتصادية حيث يروي المشروع مساحات واسعة من الأراضي الزراعية التي تصل إلى 640 ألف هكتار إضافة لتنظيم مجرى النهر ودرء أخطار

الفيضانات التي كانت تهدد الأراضي والقرى التي تجتاحها. يبين الشكل (2.4) مقطع عرضي لمحطة التوليد في سد الفرات.



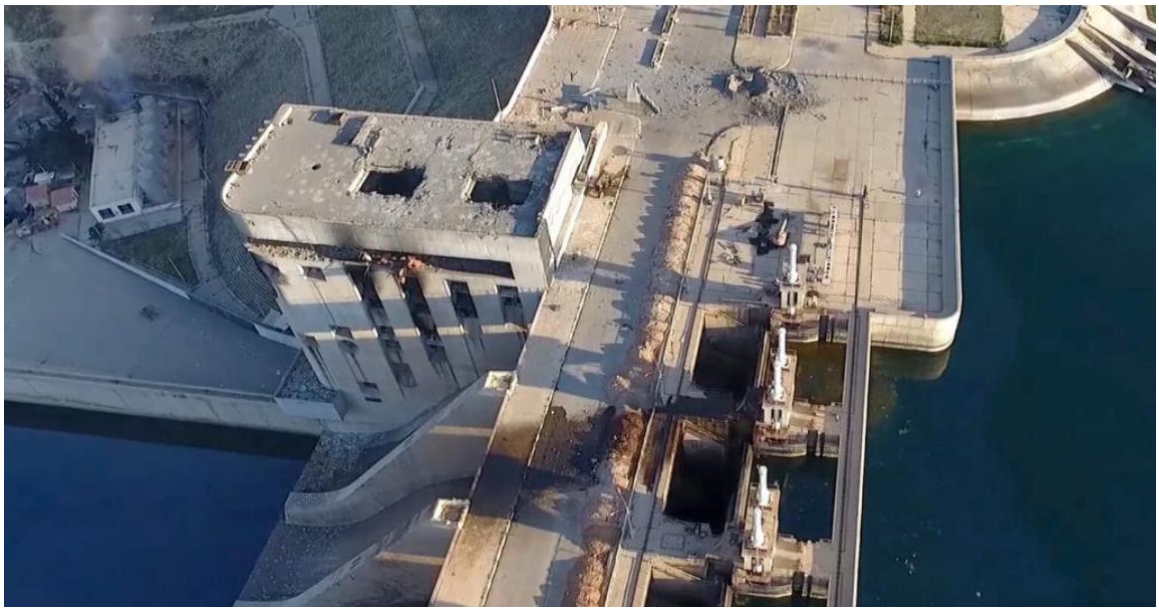
قطاع كامل في جسم المحطة تظهر البوابات القوسية وهي في حالة إغلاق

الشكل (2.4): مقطع عرضي للمحطة

المصدر: مخططات ورقية متبقية أُرشفت في مبنى إدارة المحطة

تعد الطاقة المولدة عبر المحطة الكهرومائية طاقة نظيفة صديقة للبيئة وتصل حتى 2.5 مليار كيلو واط ساعي سنويا وتغطي حاجة سورية من الكهرباء ما نسبته 17% عام 1998، في حين كانت في عام 1978 حوالي 87%، وكان في 2009 حوالي 3.4% (الهكار. ف. 2017). تاريخ بناء السد بدأ في عام 1968 وافتتح في عام 1978 يعد السد منشآه قديمة بنيت وفق التكنلوجيا السوفيتية المتوفرة في ذلك العصر. لم يتم إجراء تطويرات كبيرة أو جوهرية منذُ ذلكَ الوقت حتىٰ عام 2013 حيثُ بدأت الحالة الفنية بالتدهور بسبب الإهمال لعدم تمكن فرق الصيانة والفنيين

من القيام بعملهم بسبب الظروف الصعبة في تلك الفترة واستمر الوضع حتى تاريخ 26 مارس 2017 حيث تلقت المحطة عمليات تخريب أدت لتوقف توليد الكهرباء بشكلٍ كامل الشكل (3.4) يوضح آثار الدمار. لكن في الفترة التي تليها تمكنت الفرق الفنية من تشغيل أربع مجموعات من أصل ثمانية وبقدرة لا تتجاوز 250 MW. بسبب الحاجة لرفع الكفاءة التوليدية عن طريق تطوير بعض أجزاء التوربين والمعدات المؤثرة على عمله. كما أن التوجه العالمي يركز على الطاقات المتجددة النظيفة ومنها تطوير قدرة التوليد الكهرومائية. لذلك وجب تحليل المكونات الموجودة على طول المجرى المائي وهي التوربين و البوابات المائية (تقاد جميعها بدارات هيدروليكية).



الشكل (3.4): آثر الدمار 2017

المصدر:wikipedia

1.1.4 البوابات القوسية

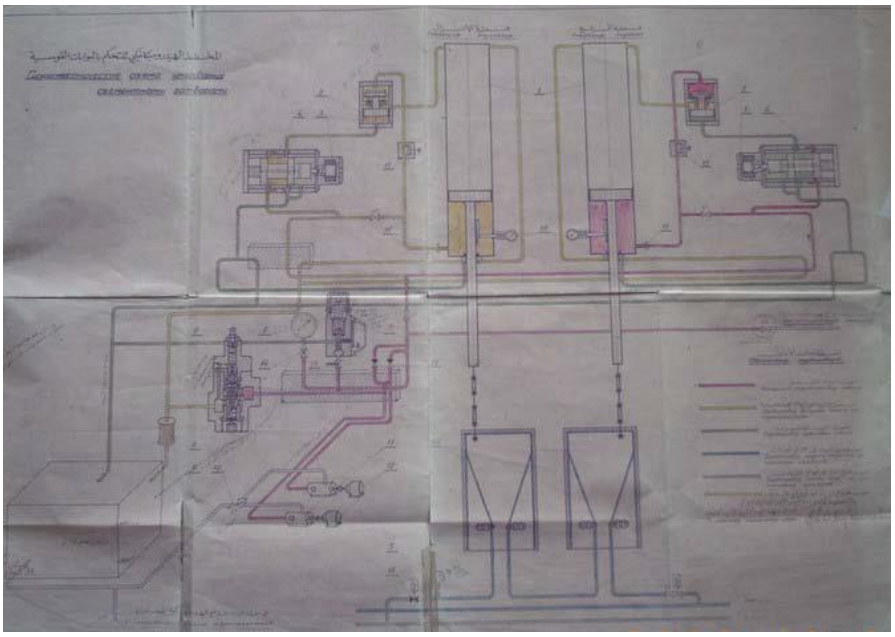
تبدأ عملية التوليد الكهربائي في محطة سد الفرات من خلال جريان الماء من الخزان المائي (البحيرة) المحجوز خلف السد والمدفوع بواسطة الضاغط المائي الهيدروستاتيكي. يتألف المدخل المائي لمجموعات سد الفرات من فتحتين

ارتفاع كل منهما 5.5 m من المنسوب[1] 253 m وحتى المنسوب 265 m وعرض الفتحة الواحدة 5.5 m يتوسط الفتحتين دعامة بيتونية . يتم إغلاق هذه الفتحات بواسطة بوابات معدنية لها شكل قوسي تتمفصل كل منها بمفصل يركز على المنسوب 259.5 m ويتم التحكم بهذه البوابات عن طريق دارة هيدروليكية حيث تتصل كل بوابة بعمود مكبس هيدروليكي عن طريق سلسلة معدنية مربوطة أسفل البوابة تكون البوابات القوسية في وضع الاستثمار مفتوحة ويتم إغلاقها في الحالات التالية:

- عند عمل (الحمايات الهيدروميكانيكية) حماية جموح المجموعة عند السرعة 145 % من السرعة الاسمية (125 rpm) للمجموعة التي تؤدي إلى إغلاق البوابات القوسية.
- عند انكسار أحد أصابع الأمان لشفرات التوجيه وذلك أثناء إيقاف المجموعة.
- عند تنفيذ الأعمال التي تستدعي تجفيف المجموعة.
- عند تنفيذ أعمال المعايرة والتجريب على البوابات القوسية.

تتوضع تجهيزات دارة المرافع الهيدروليكية (الدارة الهيدروليكية التي تتحكم بالأسطوانة الهيدروليكية التي ترفع البوابة القوسية) في غرف مستقلة على ظهر المحطة عند المنسوب m 303 حيث تضم غرفة تجهيزات مجموعتين متجاورتين تحتوي على مايلي: خزان زيت حجمه m^3 106 موصول مع الضغط الجوي عن طريق مصفاة هواء وتتم اضافة الزيت الى الخزان عن طريق فتحة في أعلى الخزان ، يقسم الخزان من الداخل الى قسمين يفصل بينهما شبك معدني لمنع دخول الشوائب المعدنية الى الدارة. يركب على الخزان مضختين مكبسيتين من طراز H−340 تعطي ضغط Kg_f/cm^2 145 تسحب المضخات الزيت من الخزان عن طريق أنبوب مركب عليه سكر يدوي. تتصل المضختان بخط دفع واحد يتوجه باتجاه الأسطوانة. يلاحظ بشكل (4.4) المخططات الورقية الغير واضحة والتي جزء كبير منها مفقود. والنظام التحكم فيها يدوي ويحوي جزء نصف أتوماتيكي.

[1] المنسوب يقاس بالمقارنة بمستوى سطح البحر



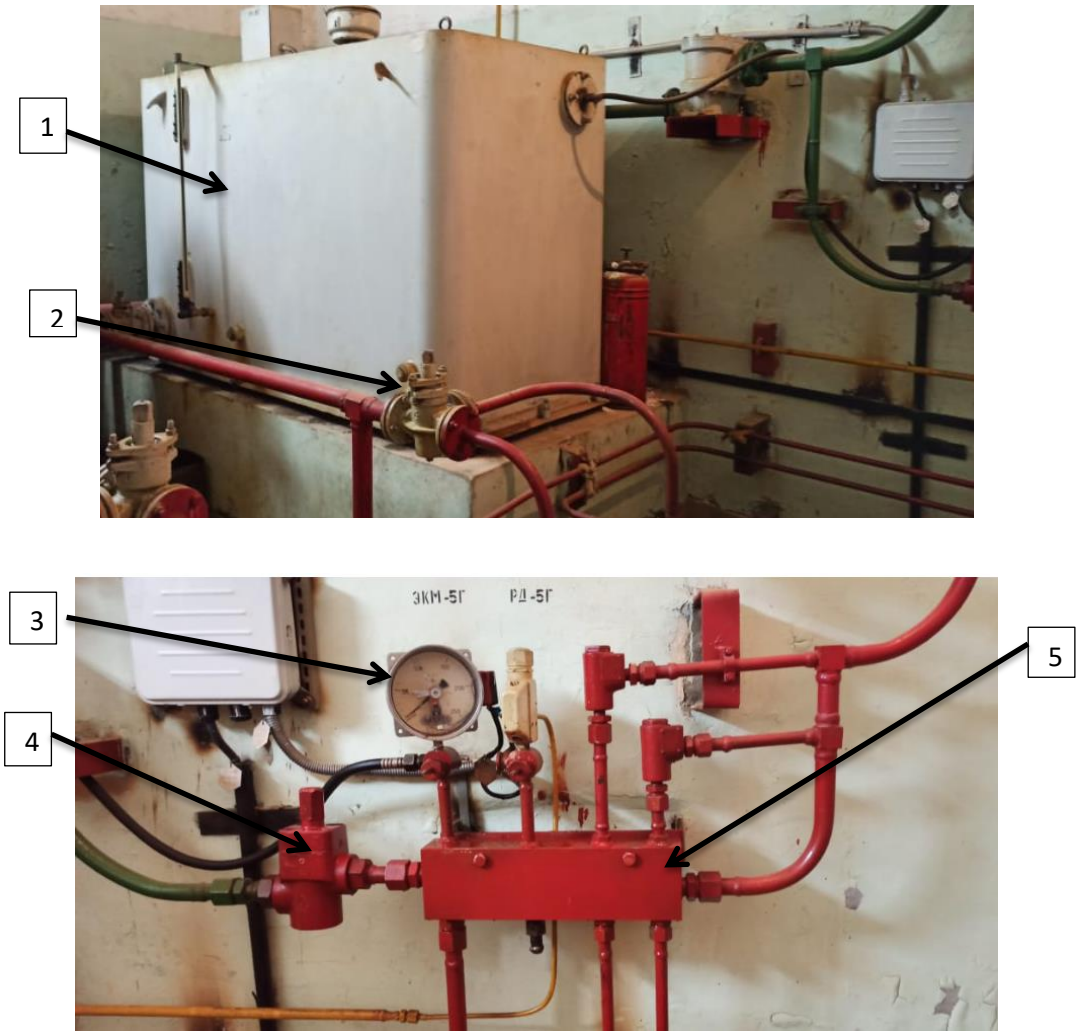
الشكل (4.4): مخطط الدارة الهيدروليكية لرفع البوابة القوسية

المصدر: مخططات ورقية متبقية أُرشفت في مبنى إدارة المحطة



الشكل (5.4): الاسطوانة الهيدروليكية رفع البوابة القوسية

المصدر: تم التقاطها بواسطة الباحث عام 2023



الشكل (6.4): عناصر الدارة الهيدروليكية رفع البوابة القوسية

المصدر: تم التقاطها بواسطة الباحث عام 2023

مسميات عناصر الدارة الهيدروليكة الموضحة في الشكل (6.4):

1-خزان الزيت الهيدروليكي. 2-صمام توجيه ثلاثي الاتجاه. 3-ساعة بيان الضغط. 4-صمام معايرة ضغط. 5-منيفولد توزيع.

2.1.4 بوابات التوجيه

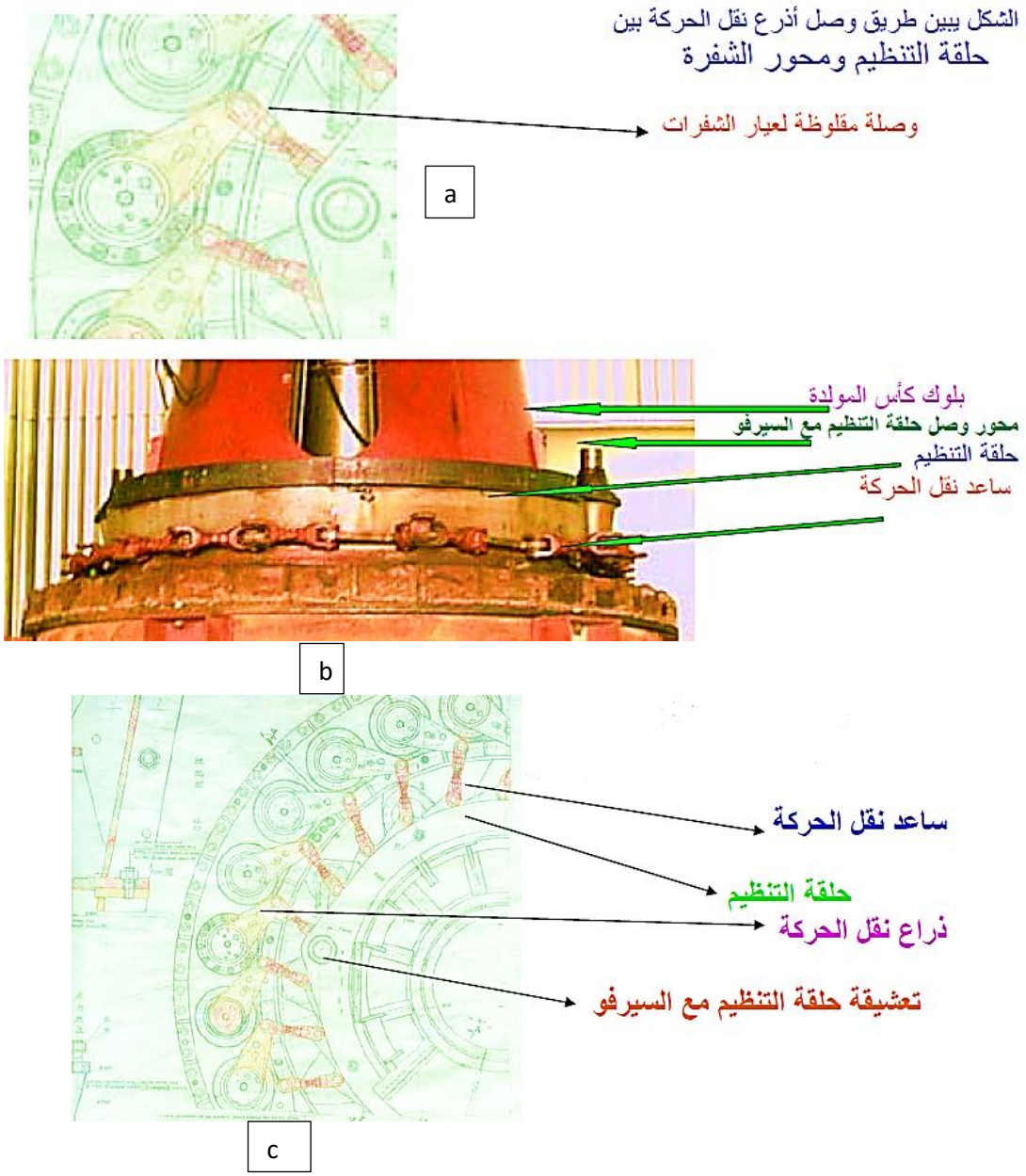
بوابات التوجيه هي عبارة عن آلية توجيه لتيار الماء المتدفق عبر البوابات القوسية إلى حجرة الدولاب العامل حيث يتم التحكم بكمية المياه المارة والمناسبة لنظام التشغيل وحمولة المجموعة. وهي نوعان بوابات التوجيه الثابتة وبوابات التوجيه المتحركة.

بوابات التوجيه الثابتة عددها 24 شفرة وهي مثبتة بين الطوقين العلوي والسفلي لحجرة الحلزون مغموسة بالبيتون من الأعلى وتتوزع على شكل حلقة حول بوابات التوجيه المتحركة. مهمة بوابات شفرات التوجيه الثابتة هي المساعدة على توجيه تيار الماء بشكل انسيابي باتجاه بوابات التوجيه المتحركة.

شفرة بوابات التوجيه المتحركة مصنوعة من مادة الفولاذ الكربوني عددها 24 شفرة تتوضع بين الطوقين العلوي والسفلي وتشكل مع بعضها البعض حلقة بقطر 7300 mm ولكل شفرة محوري تثبيت لتثبيت الشفرة بين الطوقين حيث تدور الشفرة حول محورها بزاوية دوران قدرها 43°. وزن الشفرة 3914 kg وعرض الشفرة 1050 mm وطولها 2100 mm لها طرف سماكته 210 mm بمقطع دائري مزود بسطح صقيل بعرض 50 mm ملبس بالكروم لحمياته من الصدأ والتآكل، تتناقص سماكة الشفرة تدريجياً كلما اتجهنا باتجاه الطرف الآخر حيث تنتهي السماكة إلى 3 mm والطرف الآخر مزود بمنطقة صقيله بعرض 50 mm على طول الشفرة لدى إغلاق شفرات التوجيه يلتصق الجزء الصقيل من الطرف الأقل سماكة لشفرة التوجيه مع الجزء الصقيل للطرف السميك وبخلوص صفري بينهما وذلك لمنع تسرب الماء من حجرة الحلزون لحجرة الدولاب العامل أثناء توقف المجموعة عن العمل.

يبرز من المحور العلوي جزء يركب عليه ذراع نقل الحركة إلى الشفرة لضمان نقل الحركة بين الذراع والمحور يتم تركيب خابور مؤلف من قطعتين كل واحدة منها عبارة عن نصف مخروط. يتصل ذراع التحكم بواسطة ساعد مع حلقة التحكم التي تعمل على تدوير الشفرات وقد زود هذا الساعد بوصلة مُقلوظة لتعيير تطابق الشفرات. إن الربط

بين ذراع نقل الحركة والساعد يتم بواسطة بيرنو (إصبع أمان) قابل للكسر وذلك لحماية الشفرة من الانكسار في حال انطباقها على جسم صلب أثناء الإغلاق. يوضح ذلك في الشكل (7.4).



الشكل (7.4): عناصر نقل الحركة من السيرفو إلى الشفرات.a–وصلة مقلوظة لعيار الشفرات المجهز بها ساعد نقل الحركة. b–توضع الساعد نقل الحركة أعلى التوربين. C–تعشيقة حلقة التنظيم مع الساعد بواسطة ساعد نقل الحركة.

يتم تحريك شفرات التوجيه بواسطة أسطوانة هيدروليكية مزدوجة (سيرفو) عدد 2 ذو محور مستقيم بقطر 500 mm حيث يرد الزيت المضغوط 40 Kg_f/cm^2 إليه عن طريق الصمام الهيدروليكي (كتلة المنزلقات الرئيسية) من نوع توجيهي 4/3 on/off والتي تقوم بتوجيه الزيت باتجاه الفتح أو الإغلاق بناءً على الأمر المعطى من خزانة المنظم. تتحرك السيرفو باتجاه ورود الزيت من كتلة المنزلقات.



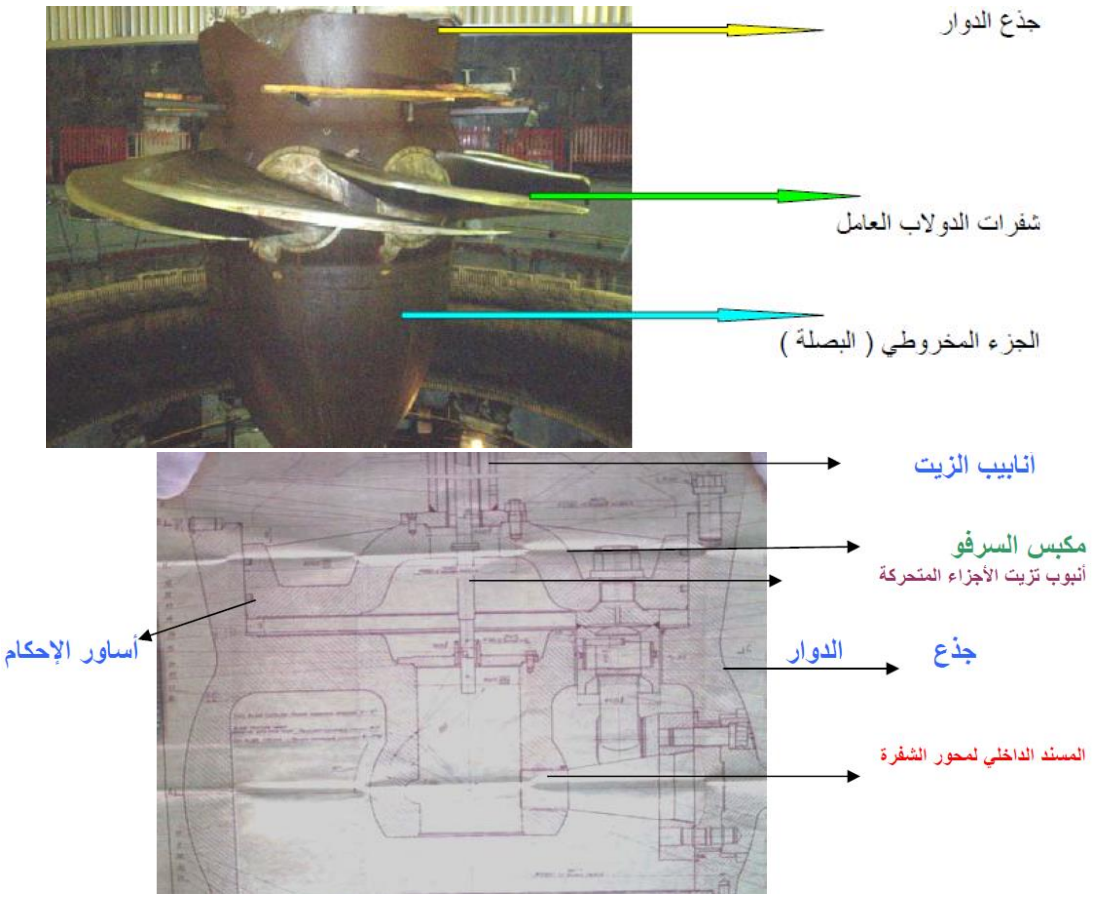
الشكل (8.4): توضع السيرفو أعلى التوربين

المصدر: أرشيف المحطة

3.1.4 شفرات الدولاب العامل

لدراسة شفرات الدولاب العامل يجب بالبداية التعرف على الدولاب العامل والذي يعد العنصر الأساسي في العنفة ومهمته استقبال تيار الماء من حلزون المجموعة وتحويل طاقة الجريان في الماء إلى طاقة حركية دورانية تعمل على تدوير محور العنفة وبالتالي دوار المولد الرئيسي. طراز الدولاب العامل70–ЛА وقطره 6. m طاقة الجريان للماء تستقبلها شفرات من خلال تدفق الماء على السطح للشفرة وعددها 8 شفرات من ماركة 0Х12НД–Л تتميز بإمكانية تحريكها بشكل متوافق حول محورها بزاوية تبدأ ب 22.30 درجة وهي زاوية الإغلاق وحتى الزاوية 17.3

درجة وهي زاوية الفتح الأعظمية. يتوضع داخل الجذع آلية تحريك الشفرات وهي عبارة عن أسطوانة هيدروليكية (سيرفو) وأذرع نقل الحركة. تتصل الشفرات بمحور تعليق مصنوعة من الفولاذ 35XMA حيث يتم الاتصال بينهما بواسطة أسافين وبراغي.

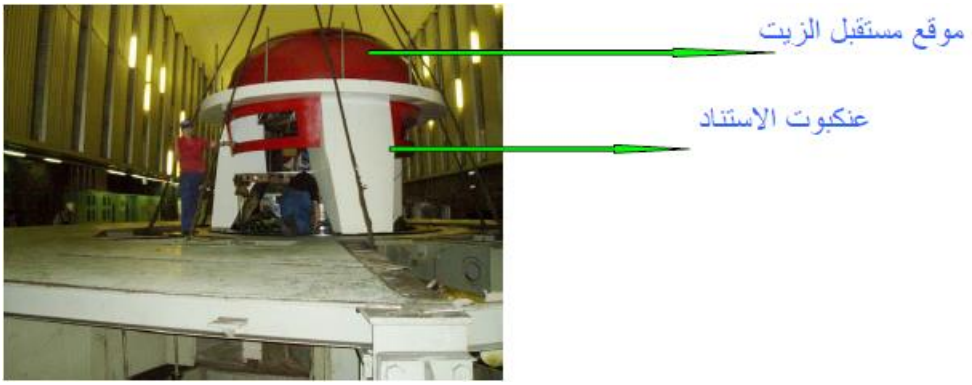


الشكل (9.4): توربين كابلان وبعض التفصيلات الداخلية

المصدر: أرشيف المحطة

عملية إيصال الزيت من دارة الهيدروليك والمضخات إلى سيرفو الدولاب العامل لتحريك شفرات الدولاب العامل. حيث يركب مستقبل الزيت على عنكبوت الاستناد للمجموعة في النهاية العلوية للمحور. قضبان الزيت الموجودة داخل المحور والمسؤول عن إيصال الزيت إلى سيرفو الدولاب العامل تتحرك حركة دورانية مع المحور وحركة إلى الأعلى والأسفل مع سيرفو الدولاب العامل كونها مثبتة مع السيرفو بواسطة وصلة قضبان الزيت بينما أنابيب توريد الزيت من

المنزلق الرئيسي للدولاب العامل هي أنابيب ثابتة فكيف سيتم وصل الأنابيب الثابتة إلى المتحركة من هنا جاءت فكرة مستقبل الزيت حيث يؤمن هذا الجهاز الوصل المطلوب بين الثابت والمتحرك.



الشكل (10.4): مستقبل الزيت على عنكبوت الاستناد.

المصدر: تصوير الباحث 2022

4.1.4 وحدة الزيت الهيدروليكي المضغوط

مهمة وحدة الزيت المضغوط هو تأمين الزيت الهيدروليكي بضغط $40\ Kg_f/cm^2$ والذي يقابل 569 psi والمحافظة على هذه القيمة بشكل دائم لتأمين جاهزية عمل دارة التنظيم. وتتكون من:

1. مضخات الزيت المضغوط عددها 2 من النوع اللولبي تتوضع بشكل أفقي الشكل (11.4).
2. خزانات الضغط عدد 2 حجمها $20\ m^3$ والضغط الأسمى $40\ Kg_f/cm^2$ الشكل (12.4).
3. صمام الأمان عددها 2 و صمام تخفيض الضغط عددها 2 مهمتها المحافظة على ضغط ثابت من خلال مراقبة قيمته الشكل (13.4).
4. صمام الإقلاع والذي يكون مركب عليه قاطع كهربائي لتأمين العمل المتقطع للمحرك الكهربائي للمضخة العاملة مفتوحة مؤدياً إلى عمل المحرك الكهربائي على الفراغ أثناء الإقلاع والإيقاف لتخفيف العزم على المحرك مساعدا بذلك عمل صمام التخفيف الشكل (14.4).

5 .زواجل الضغط للتحكم بعمل المضخات عددها 3 تحوي قاطع كهربائي في حال تجاوز الضغط قيم عظمة تفصل التغذية الكهربائية عن المضخات.



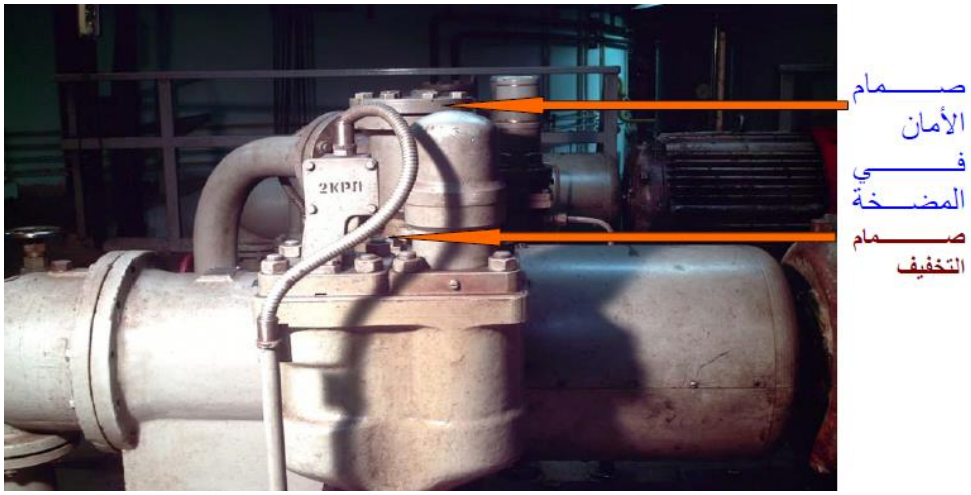
الشكل (11.4): مضخات الزيت الهيدروليكي

المصدر: تصوير الباحث 2022



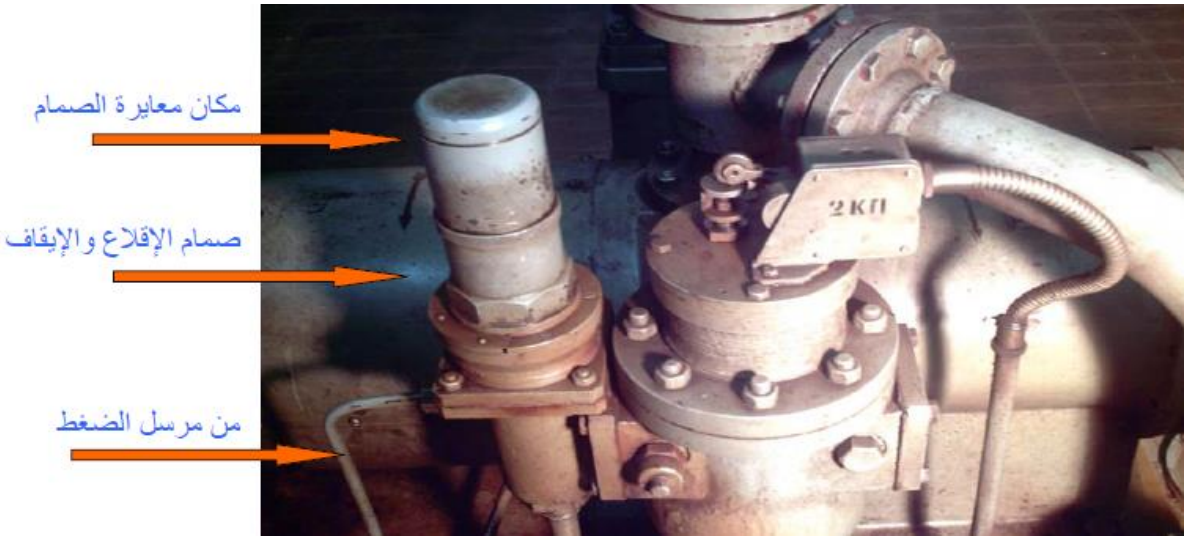
الشكل (12.4): خزانات الزيت المضغط

المصدر: تصوير الباحث 2022



الشكل (13.4): صمام الأمان والتخفيف

المصدر: تصوير الباحث 2022



الشكل (14.4): صمام الإقلاع والإيقاف

المصدر: تصوير الباحث 2022

5.1.4 صمامات التوجيه الهيدروليكية

يطلق عليها وفق التسمية العربية المترجمة من المراجع الروسية المنزلقات الرئيسية. تتواجد تحت الخزانة منظم على هيكل خاص ترتبط الصمامات بخزانة التحكم الهيدروميكاينيكي (المنظم) بواسطة أذرع، تسمى التغذية الخلفية الميكانيكية. ترتبط الأنابيب الرئيسية للصمامات بوحدة الزيت المضغوط وتوجه الزيت المضغوط باتجاه سيرفو بوابات التوجيه وسيرفو شفرات الدولاب العامل. يبين الشكل (15.4) صمامات التوجيه الرئيسية.



الشكل (15.4): المنزلقات الرئيسية (الصمام الهيدروليكية)

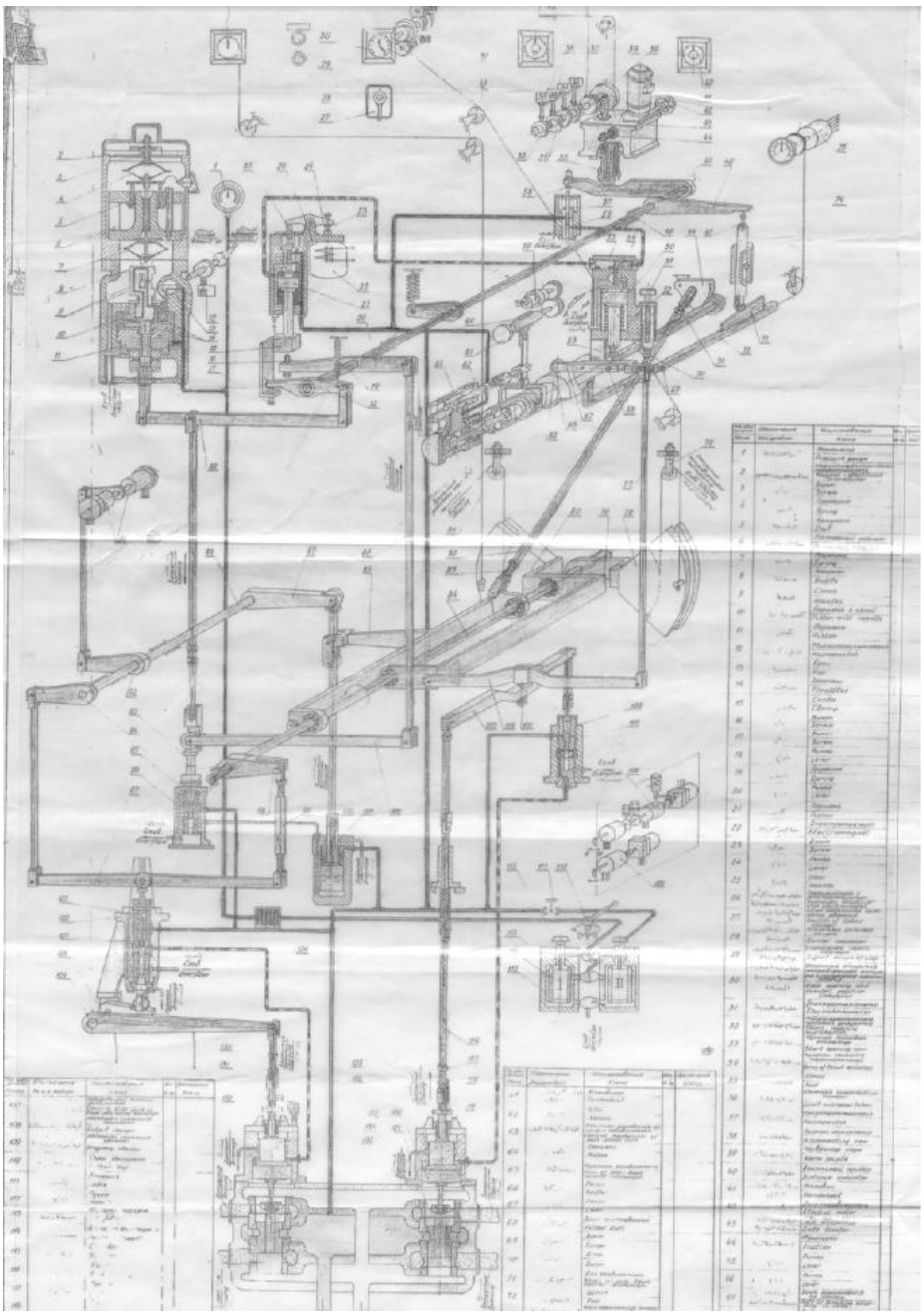
المصدر: تصوير الباحث 2022

التحكم بصمامات الهيدروليكيا هو الوظيفة الأساسية لمنظم الآلي طراز3ГРК-200-3 . والذي يعد المؤثر الثاني بالإضافة لصمامات التوجيه الهيدروليكية على دقة عمل الأسطوانات الهيدروليكية (سيرفو).

6.1.4 المنظم الآلي – خزانة التحكم الهيدروميكانيكية

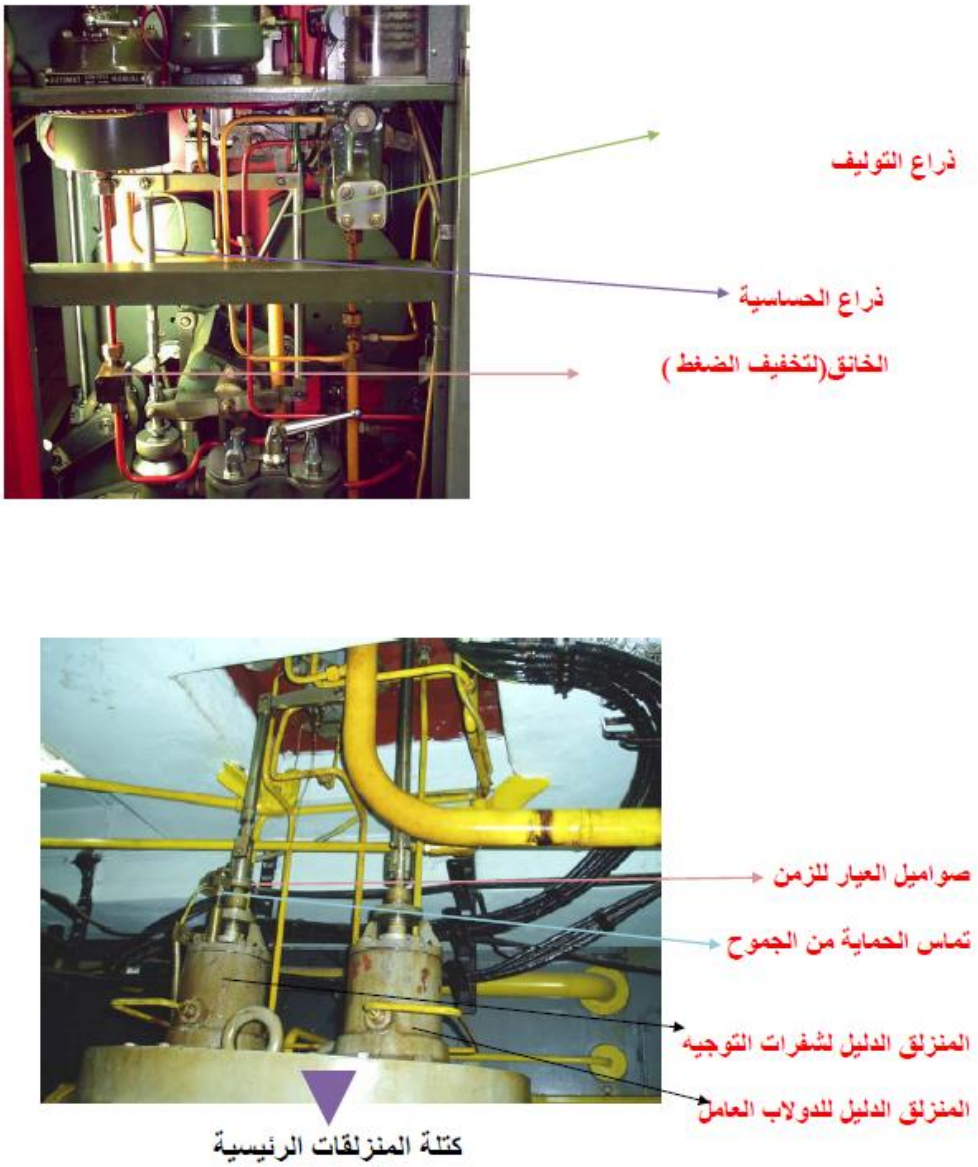
أهمية المنظم تكمن بتحكمه بعمل الصمامات الهيدروليكية وفق منحني التوليف بين زاوية فتحة بوابات التوجيه المتحركة وشفرات الدولاب العامل. وضع صمامات التوجيه الهيدروليكية والزمن الذي يستغرقه الصمام في أي وضعية

إغلاق كانت أو فتح يحدد مقدار التقدم للأسطوانة الهيدروليكية (السيرفو). كما تم ذكره فإن المنظم من طراز 3ГРК-200-3 ويعتمد على نظام هيدروميكانيكي في عمله ترى العتلات والأذرع والكامات في الشكل (16.4) والشكل (17.4). لم يطرأ عليه أي تحديث منذ عام 1978.



الشكل (16.4): مخطط حاكم السرعة

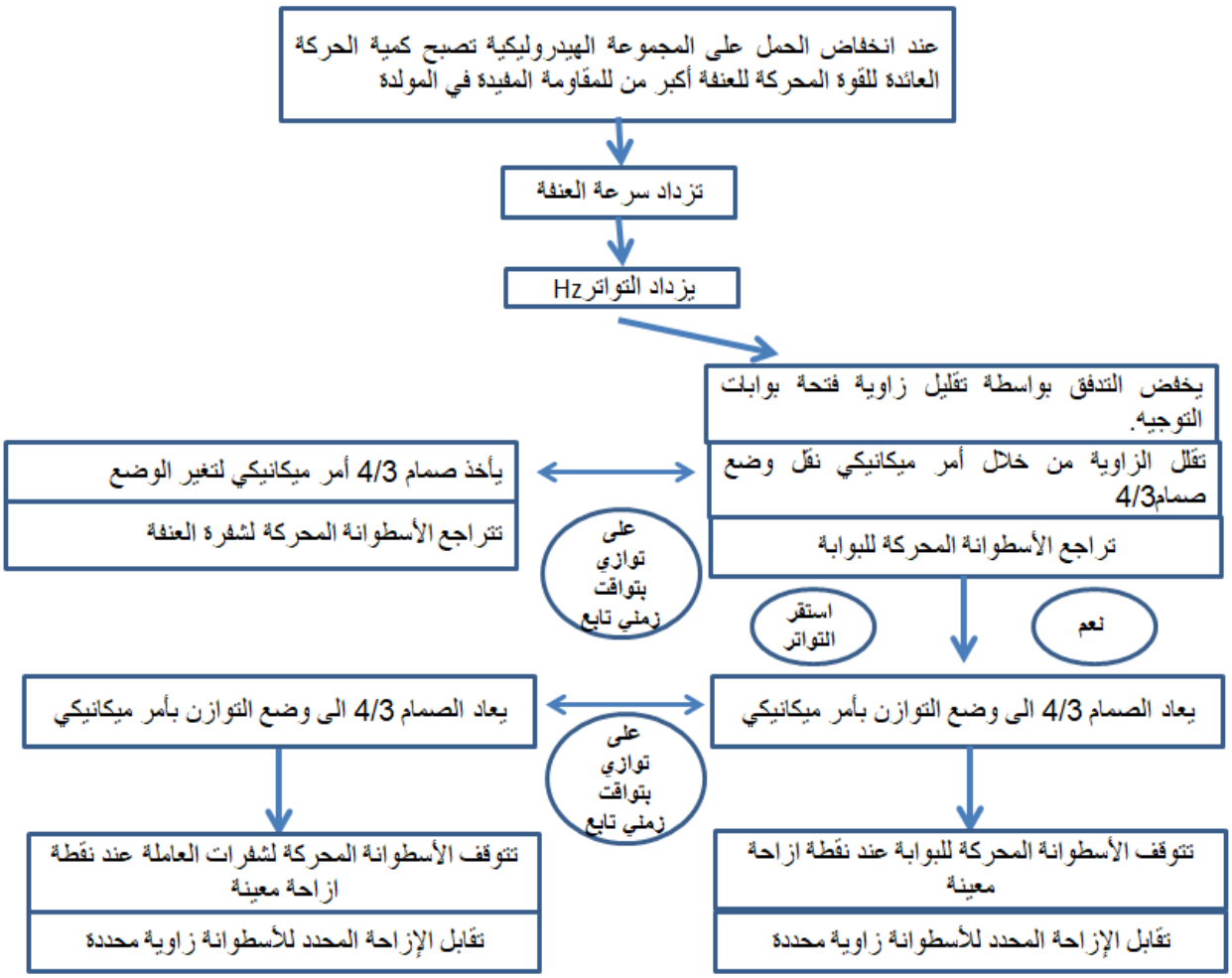
المصدر: أرشيف المحطة



الشكل (17.4): صور حاكم السرعة والخزانة الهيدروميكانيكية

المصدر: أرشيف المحطة

لتوضيح خوارزمية عمل منظومة الحاكم للسرعة الهيدروميكاينيك تم إنشاء تسلس عملياتي صندوقي لحالة الاستجابة لانخفاض الحمل وفق الشكل (18.4).

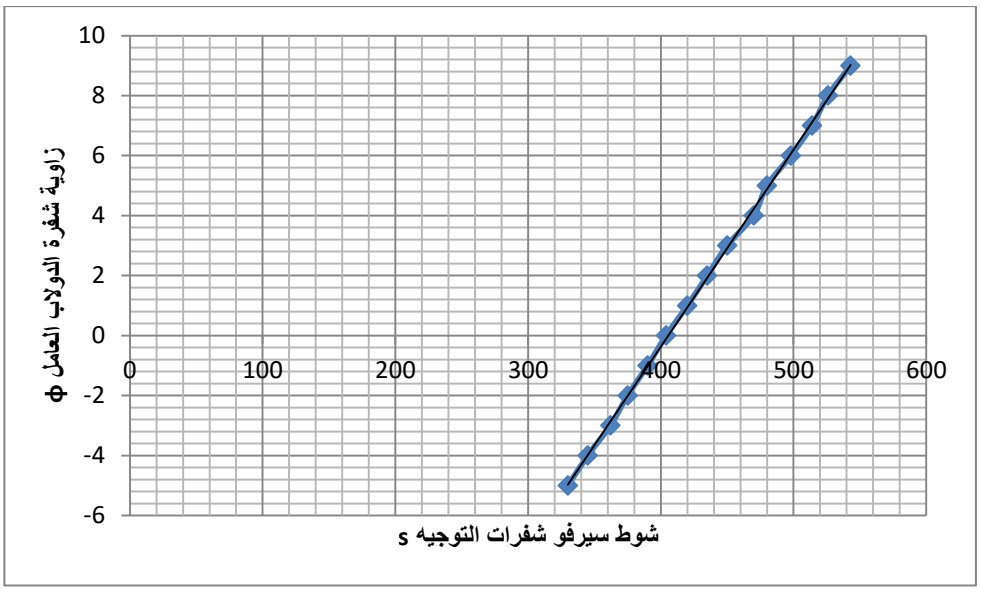


الشكل (18.4): يوضح مخطط صندوقي لاستجابة المنظم لانخفاض الحمل

المصدر: إعداد الباحث

منظم حاكم السرعة (المنظم الهيدروميكانيكي) يقوم بضبط كل من زاوية فتحة بوابات التوجيه وزاوية فتحت شفرة الدولاب العامل وفق علاقة التوليف والتي تمثل خط بياني تم تقديمه من المعهد السوفيتي الدارس لسد والذي يفترض وفقه أن يقدم المجرى المائي أثناء انسيابه على شفرة الدولاب العامل أكبر قدرة ميكانيكية مفيدة باقل كمية جريان ممكنة لتأمين سرعة ثابتة مستقرة ضرورية لتوليد تواتر ثابت (50 HZ) دون حدوث اضطرابات في الجريان أو هدر بالقدرة المائية أو تحميل قوة محورية شاقولية للأسفل غير مفيدة تزيد الحمولة على المحامل الدورانية لمجموعة

التوربين. علما أن لكل قيمة ضاغط هنالك خط بياني يمثل علاقة توليف خاصة بذلك الضاغط. يتم معايرة عمل الضاغط على علاقة التوليف التي تقابل الضاغط الجديد. تم دراسة علاقة التوليف المثلة ونمذجتها لأجل القيام بالمقارنة مع القراءات المأخوذة من التوربينات العاملة حاليا في المحطة لتقييم كفاءة العمل.



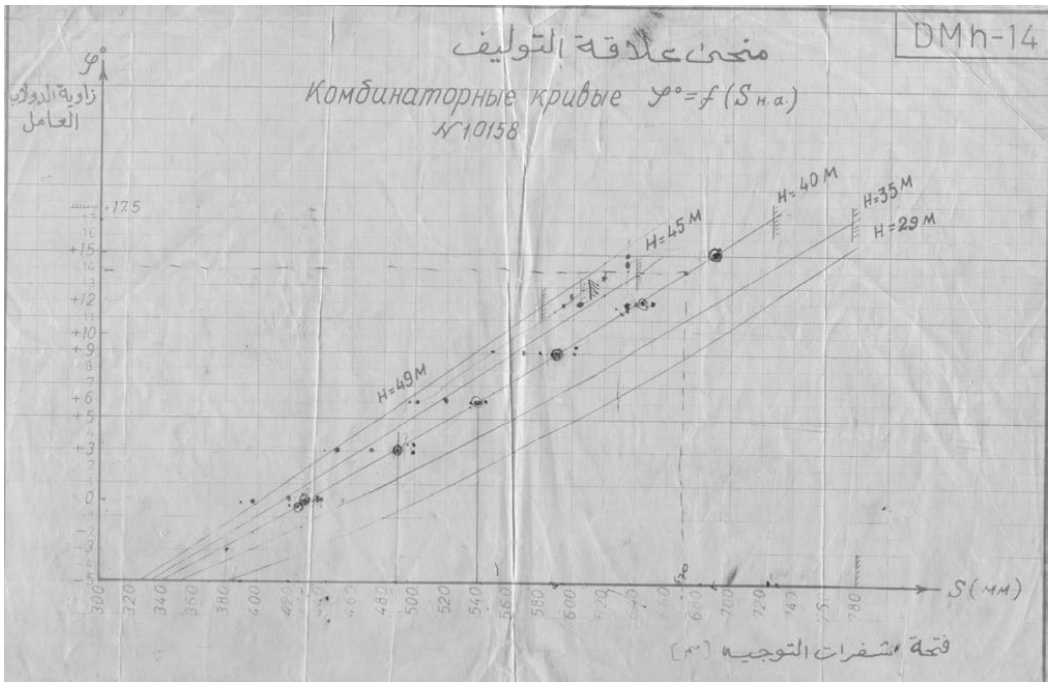
زاوية شفرات الدولاب العامل Φ	شوط سيرفو شفرات التوجيه s
degree	mm
-5	330
-4	345
-3	362
-2	375
-1	390
0	404
1	420
2	435
3	450
4	470
5	480
6	498
7	514
8	526
9	543

عند ضاغط 48

الشكل (19.4): الخط البياني الذي يمثل علاقة التوليف المثلى بين شوط سيرفو بوابة التوجيه وزاوية الشفرات لدولاب العامل للعنفة عند ضاغط 48 متر

المصدر: أعداد الباحث

تم أخذ قيم علاقة التوليف وتشكيل منحنيات علاقة التوليف من المعلومات المتبقية الموجودة في المحطة. وذلك لتحديد كفاءة عمل المنظومة ولأجل حساب الضياعات.



الشكل (20.4): الخط البياني لعلاقة التوليف موضوع من قبل المعهد السوفيتي الدارس

المصدر: أرشيف المحطة

جدول (1.4): قياسات فعلية تم أخذها بتاريخ 2024/2/1 من قبل مشغلي سد الفرات لكل من زاوية فتح شفرات الدولاب العامل وقياس شوط السيرفو لبوابات التوجيه المتحرك

شوط سيرفو شفرات بوابات التوجيه s	زاوية شفرات الدولاب العامل ϕ	استطاعة مولدة (حمولة) w
Mm	Degree	MW
425	+4	65
535	+8	85
عند ضاغط 48 متر		

يلاحظ في الجدول (1.4) اختلاف القيم المقاسة عن علاقة التوليف للمجموعة الأولى والمجموعة الثامنة ومنه تم دراسة الضياعات التي تسببه الفروقات في زاوية فتحة البوابات عن علاقة التوليف. ضمن الجدول (2.4).

جدول (2.4): تفسير وحساب الضياعات للقياسات التي تم أخذها بتاريخ 2024 من قبل مشغلي سد الفرات لكل من زاوية فتح شفرات الدولاب العامل وقياس شوط السيرفو لبوابات التوجيه المتحرك

المجموعة الأولى								
ضاغط (m)	استطاعة مولدة فعلية (M W)	تدفق مقاس (m3.sec)	زاوية الدولاب العامل المقاسة (deg)	شوط سيرفو بوابات التوجيه /مقاس/ (mm)	شوط سيرفو بوابات التوجيه /مثالي/ (mm)	انحراف عن المثالية (mm)	عجز التدفق (m3.sec)	استطاعة ضائعة (M W)
48	65	156	4	425	470	45	10% =15	8

المجموعة الثامنة								
ضاغط (m)	استطاعة مولدة فعلية (M W)	تدفق مقاس (m3.sec)	زاوية الدولاب العامل المقاسة (deg)	شوط سيرفو بوابات التوجيه /مقاس/ (mm)	شوط سيرفو بوابات التوجيه /مثالي/ (mm)	انحراف عن المثالية (mm)	ضياع التدفق (m3.sec)	استطاعة ضائعة (M W)
48	85	201	8	535	526	9	2% =3	1.5

القياس الأول : يلاحظ عند زاوية + 4 لشفرات الدولاب العامل عند ضاغط 48 متر يكون شوط سيرفو شفرات التوجيه وفق علاقة التوليف المثالية 470 ملم. حيث تولد استطاعة 75 ميغاواط ولكن وفق القياسات المأخوذة من المجموعة الأولى ضمن المحطة وجد أن زاوية + 4 لشفرات الدولاب العمل عند ضاغط قيس ب 48 متر كان شوط سيرفو شفرات التوجيه 425 ملم والاستطاعة المولدة كانت 65 ميغا واط .الفرق في شوط سيرفو بوابات التوجيه بين المفروضة والمقاسة هو 45 ملم والذي يقابله % 12.27 في بوابات التوجيه والذي يعطي عجز في التدفق 27.48

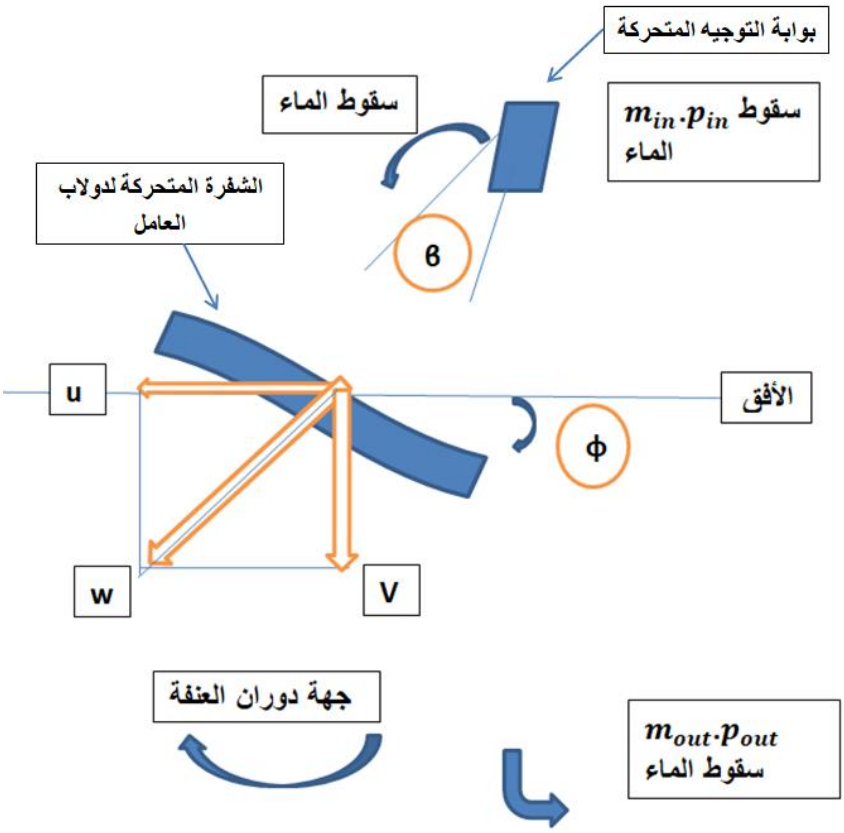
متر مكعب في الثانية والذي أدى لتوليد استطاعة 65 ميغا واط .علما أن استطاعة 65 ميغا واط تولد عند زاوية +2 لشفرات دولاب العامل لنفس قيمة الجريان.وعليه فإن ازدياد زاوية شفرات الدولاب العامل أدى لازدياد سطح مواجهة المجرى المائي مما أدى لحدوث اضطراب خارج منحني الجريان المنتظم المعطى وفق علاقة التوليف المثالية. أي تضرر لسطح شفرات الدولاب العامل (1–تشققات نتيجة الأجهاد الميكانيكي. 2–تآكل نقطي نتيجة التكهف.)

القياس الثاني: يلاحظ عند زاوية +8 لشفرات الدولاب العامل عند ضاغط 48 متر يكون شوط سيرفو شفرات التوجيه وفق علاقة التوليف المثالية 526 ملم وتولد استطاعة 85 ميغاواط ولكن وفق القياسات المأخوذة من المجموعة الأولى ضمن المحطة وجد أن زاوية +8 لشفرات الدولاب العمل عند ضاغط قيس ب 48 متر كان شوط سيرفو شفرات التوجيه 535 ملم والاستطاعة المولدة كانت 85 ميغا واط. الفرق في شوط سيرفو بوابات التوجيه بين المفروضة والمقاسة هو 9 ملم والذي يقابله 2.5 % في بوابات التوجيه والذي يعطي زيادة في التدفق 2.5 متر مكعب في الثانية والذي يقابله ازدياد في الجريان بقيمة 2.6 متر مكعب وهي كمية تدفق ضائعة من الثروة المائية للخزان المائي المحجوزة خلف سد الفرات. كما أن هذه القيمة الضائعة من التدفق في حال التوليف الطبيعي بين زاوية شفرات الدولاب العامل وزاوية شفرات بوابات التوليف. يمكن أن تولد استطاعة مضافة بقيمة 1.5 ميغاواط. كما أن ازدياد كمية الجريان يزيد من القوة المحورية المولدة على حساب القوة القطرية المفيدة. حيث ازديد القوة المحورية يزيد الحمولة على محامل العنفة.

بالإضافة للضياعات في كل من القدرة المائية والكهربائية فإن عامل القوة والإجهادات المطبقة على الشفرة والتي تزداد بشكل شاذ عن النمط الطبيعي في ظروف التشغيل الطبيعية ولتبيان القوة وفق زاوية سقوط الماء تم تحليل تلك القوة إلى مركبتين توضحان في الشكل (21.4). إن تأثير الاضطراب في المجرى المائي نتيجة عدم الانسجام في عمل بوابات التوجيه المتحركة وشفرات الدولاب العمل. توضح الشكل (22.4) صور لآثر تضرر الشفرات في المجموعة

السابعة بسبب الشذوذ في الحمولات على الشفرات والتي تؤدي إلى تضرر كبير في شفرات التوربين وعليه تم توقيف المجموعة لإجراء الصيانات المطلوبة الشكل (22.4 – d).

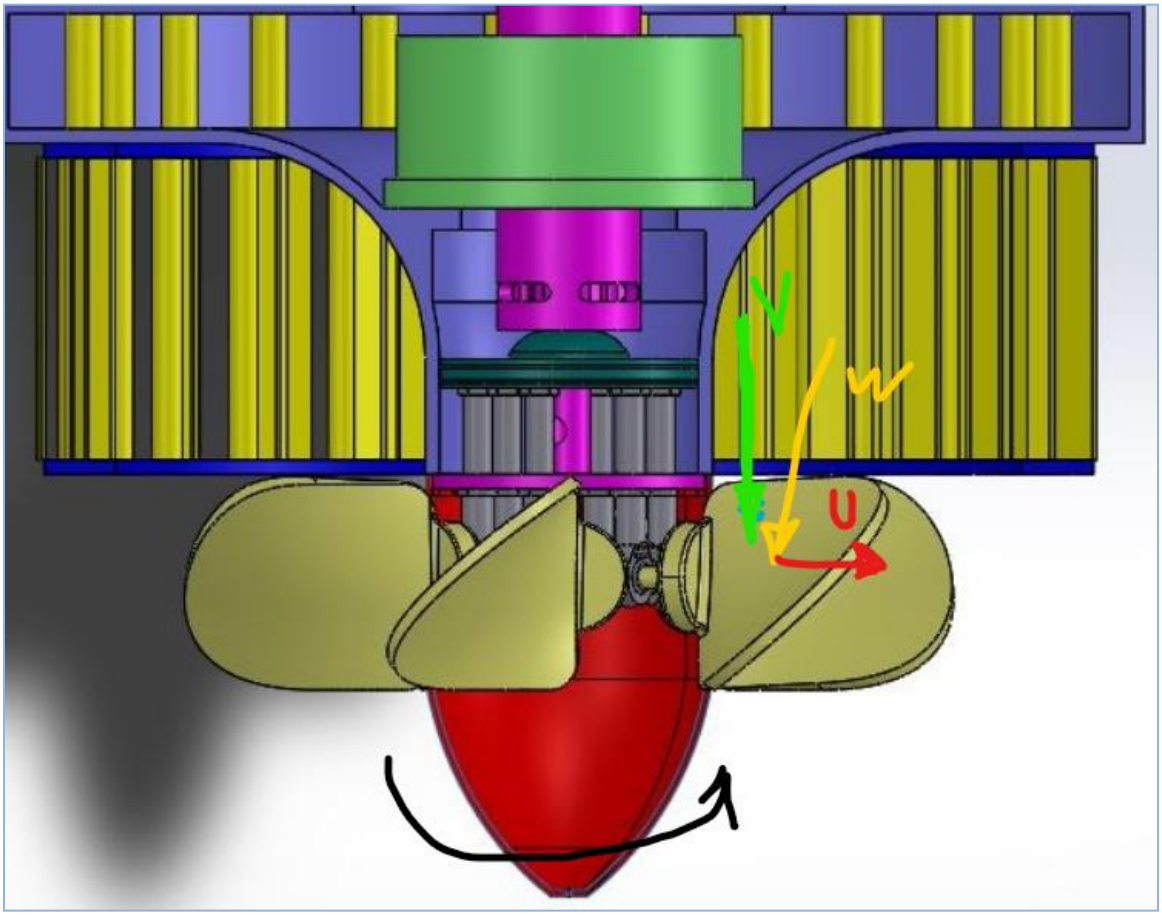
هنالك عدد من الأسباب التي تؤدي الى حدوث الشذوذ في الحمولات والتي تبدأ بازدياد القوة المحورية الشاقولية بشكل غير طبيعي على حساب القوة العاملة المولدة لعزم الدوران حول المحور الرئيسي للمولدة. والامر الذي يؤدي لإجهاد غير متوازن على جزء من سطح شفرة التوربين محدثا شقوقا واضحة . وتنتهي بحدوث تكهف على نطاق واسع في بئر التوربين أو حتى صدمة مائية مهما كانت شدتها.



a

الترقيم	الرمز	التسمية
1	ϐ	زاوية فتح بوابات التوجيه المتحركة
2	ϕ	زاوية دوران شفرات المتحركة للعنفة
3	w	محصلة القوى الناتجة عن سقوط الماء على الشفرة
4	u	القوة المحورية المولدة لعزم التدوير
5	v	القوة العمودية
6	$m_{in}.p_{in}$	حجم الماء الداخل وضغطه
7	$m_{out}.p_{out}$	حجم الماء الخارج وضغطه

b



c

الشكل رقم (21.4): (a) مخطط محصلة القوى المؤثرة على شفرة التوربين

(b) جدول بالتسميات

(c) محصلة القوة المؤثرة على الشفرة

المصدر: أعداد الباحث

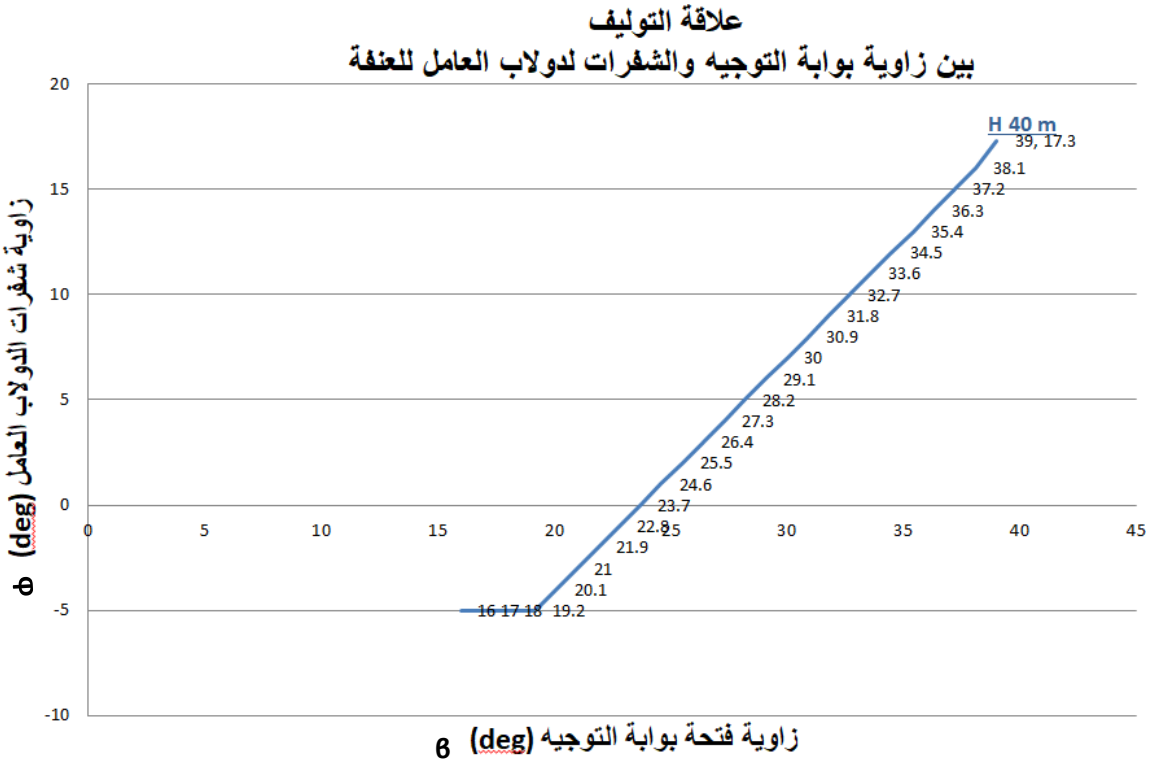


الشكل (22.4): (a,b,c)– آثر التضرر في الوجه الخلفي لشفرات الدولاب العامل.

d– وأعمال الصيانة للمجموعة السابعة.

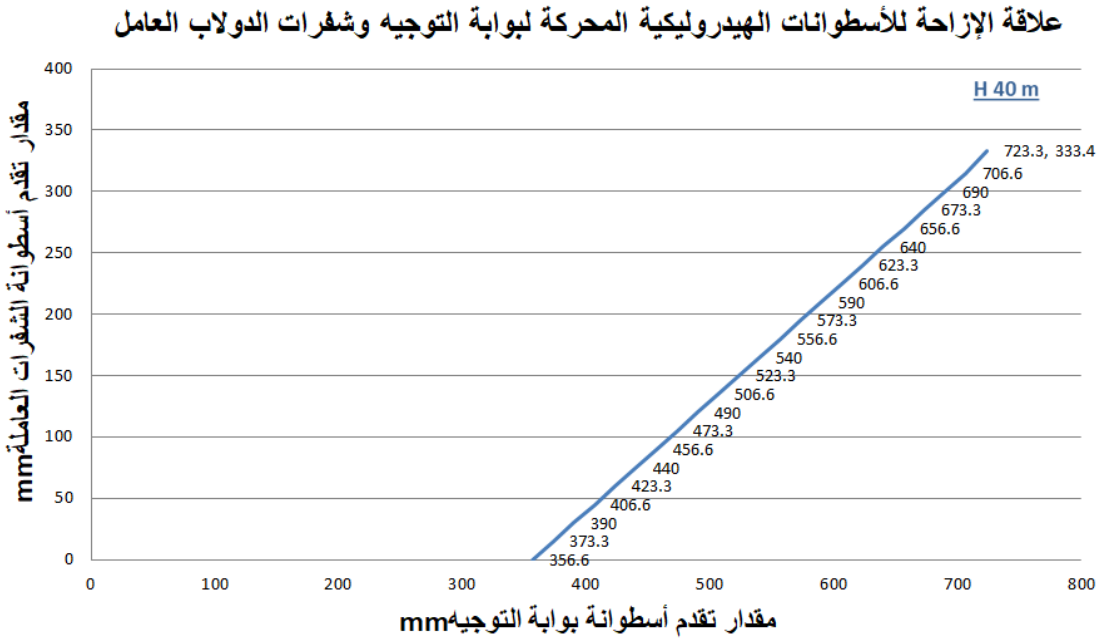
المصدر: فرق الصيانة بتاريخ 2024/7/15

ووفق ما تبين فإن هنالك حاجة ماسة لأجل تطوير منظومة التحكم في الأسطوانات الهيدروليكية المتحكمة في زاوية فتحة بوابات التوجيه والدولاب العامل وعليه حللت العلاقة بين زاوية فتحة البوابات و زاوية فتحة الشفرات المربوطة وفق علاقة التوليف، وهي العلاقة بين مقدار التقدم للأسطوانة المتحكمة بالبوابات المتحركة والاسطوانة المتحكمة بفتحة الشفرات. الشكل (23.4) و(24.4)



الشكل (23.4): خط بياني يمثل علاقة التوليف بين زاوية بوابة التوجيه المتحركة والشفرات لدولاب العامل للعنفة

المصدر: إعداد الباحث



الشكل (24.4): الخط البياني الذي يمثل علاقة الإزاحة للأسطوانات الهيدروليكية المحركة لبوابة التوجيه وشفرات الدولاب العامل

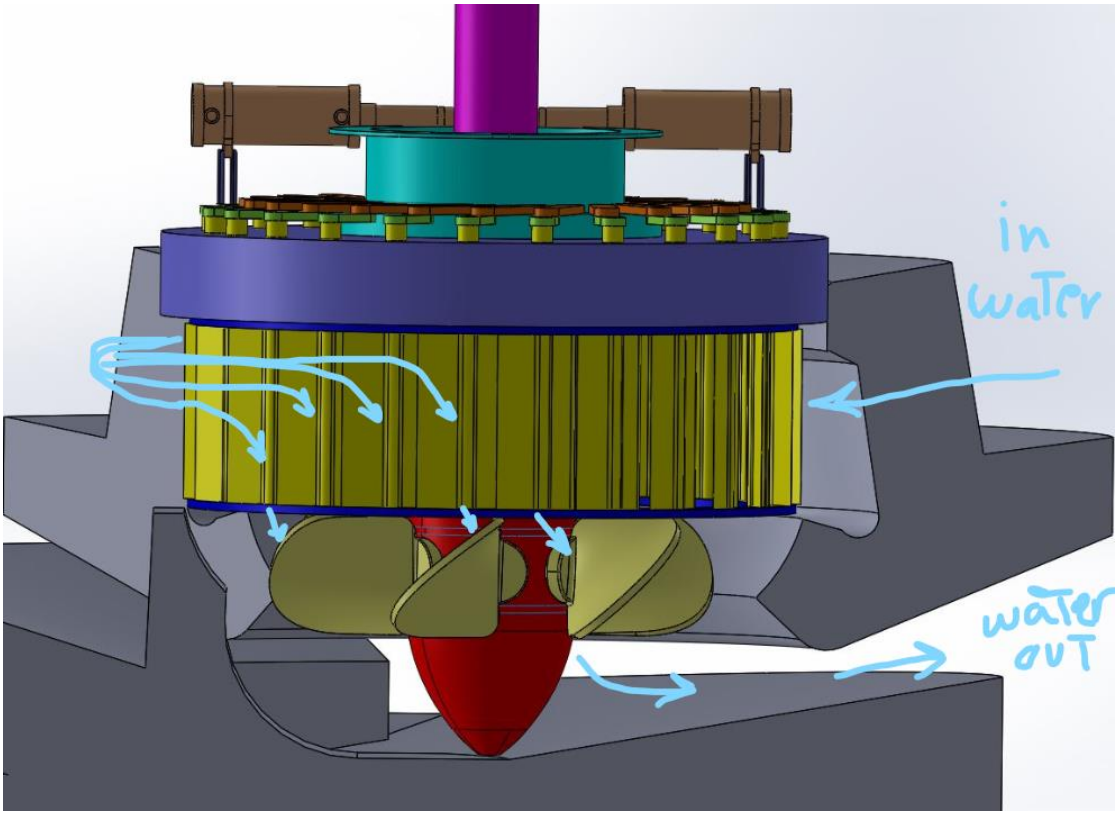
المصدر: إعداد الباحث

الفصل الخامس

النمذجة ومنصتي الاختبار ومناقشة النتائج

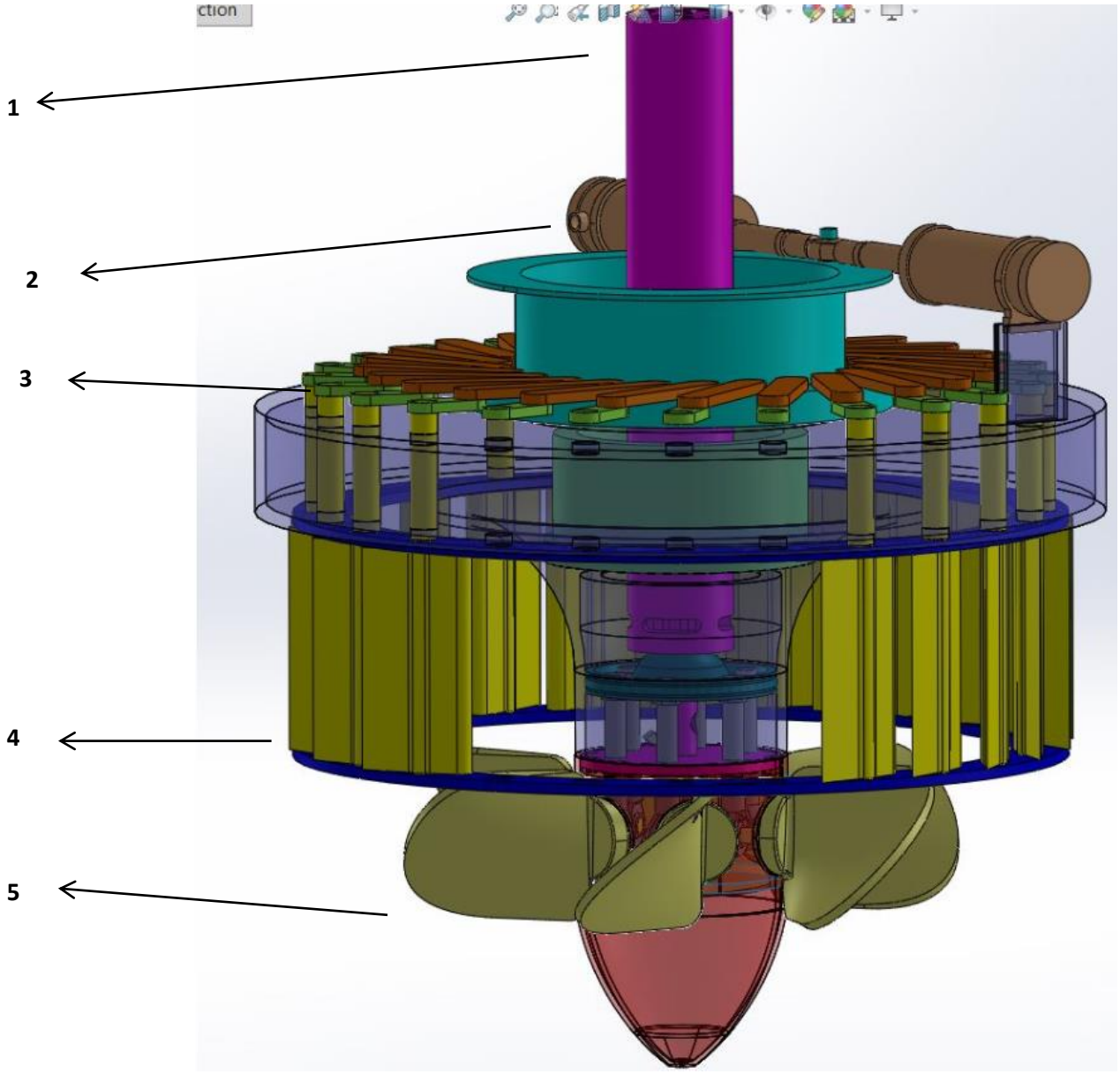
1.5 نمذجة التوربين

وفق مفهوم الهندسة العكسية الطريق لتطوير أي منظومة هي إنشاء نماذج حاسوبية أو مجسمات اختبارية وتحليلها ومنه إنشاء نماذج رياضية ودراسة تغير البارومترات والمتغيرات لصالح الجزئية المدروسة ومن إجراء التعديل (التطوير) على النماذج الحاسوبية أو المجسمات الاختبارية ومن ثم تحصيل النتائج ومطابقتها مع التوقعات الرياضية. وعليه فقد تم نمذجة التوربين باستخدام برنامج Solidworks. والميكانزيمات التي تربط بين الحركة الخطية للأسطوانات الهيدروليكية ومقياسها مقدار تقدم الاسطوانة بواحدة mm والحركة الدورانية لبوابات التوجيه والشفرات العاملة ومقاسة بواحدة الدرجة ومن ثم استنتاج الخطوط البيانية في الأشكال (23.4) و(24.4)



الشكل (1.5): نموذج عام يوضح كيفية تدفق الماء من اتجاه الحلزون مروراً بحجرة التوربين ومن ثم خروجاً

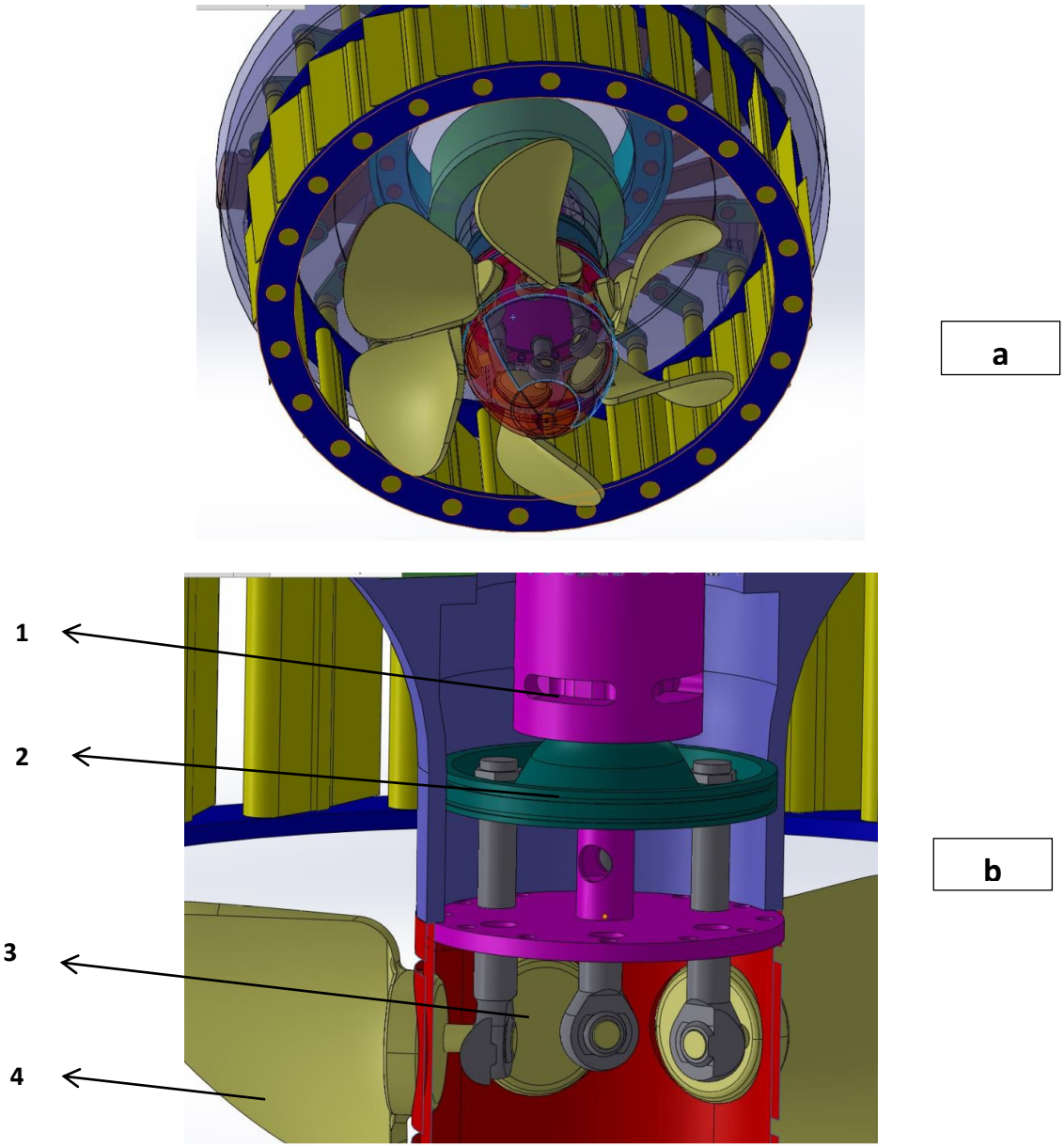
المصدر: إعداد الباحث بواسطة برنامج Solidworks



الشكل (2.5): نموذج عام للتوربين يوضح تفاصيل للميكانزيمات الداخلية.

المصدر: إعداد الباحث بواسطة برنامج Solidworks

مسميات الشكل (2.5): 1-المحور الذي يحوي خطوط نقل الزيت المضغوط باتجاه الأسطوانة الهيدروليكية لتحريك الشفرات وخطوط إعادة الزيت باتجاه مجمع الزيت (العنكبوت). 2-الأسطوانة الهيدروليكية المزدوجة المركبة على طوق تحريك بوابات التوجيه. 3-ميكانيزم تحويل الحركة الخطية لحركة دورانية. 4-بوابات التوجيه المتحركة. 5-الشفرات العاملة.



الشكل (3.5): (a) توضع ميكانزيم تحريك الشفرات.(b) تفاصيل ميكانزيم تحريك الشفرات

المصدر: إعداد الباحث بواسطة برنامج Solidworks

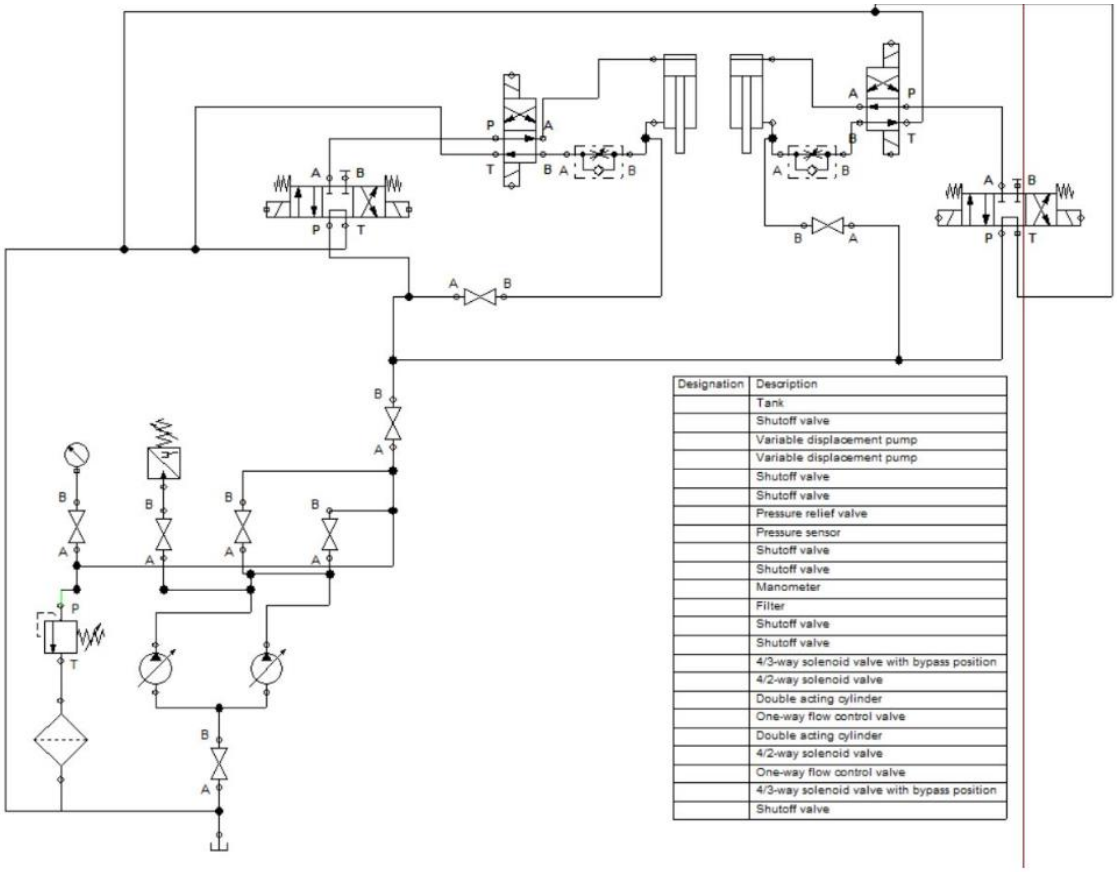
مسميات الشكل (3.5): 1-الاسطوانة الهيدروليكية لتحريك شفرات الدولاب العامل. 2-القرص الذي يوصل بين نهاية ذراع الاسطوانة وذراع القرص اللامركزي. 3-القرص اللامركزي (يحو الحركة الخطية الدورانية). 4-شفرة الدولاب العامل.

2.5 الدارات الهيدروليكية المنمذجة

تم نمذجة الدارت الهيدروليكية باستخدام برنامج Fluidsim .

1.2.5 نمذجة الدارة الهيدروليكية للبوابة القوسية

تم نمذجة الدارة الهيدروليكية للبوابة القوسية كما هي من الواقع في المحطة دون إجراء تعديل (تطوير). ومن تحليل عمل المنظومة وجد أن البوابة تبقى مفتوحة بشكل دائم عدا وقت صيانة التوربين تغلق ومنه عمل البوابة لا يؤثر على كفاءة عمل التوربين. الشكل (4.5) يوضح الدارة الهيدروليكية الخاصة برفع البوابات القوسية في (حالة الفتح) أو إنزال البوابات في (حالة الإنزال) حيث يقوم المبكس الهيدروليكي برفع أو إنزال بوابة قوسية واحدة.

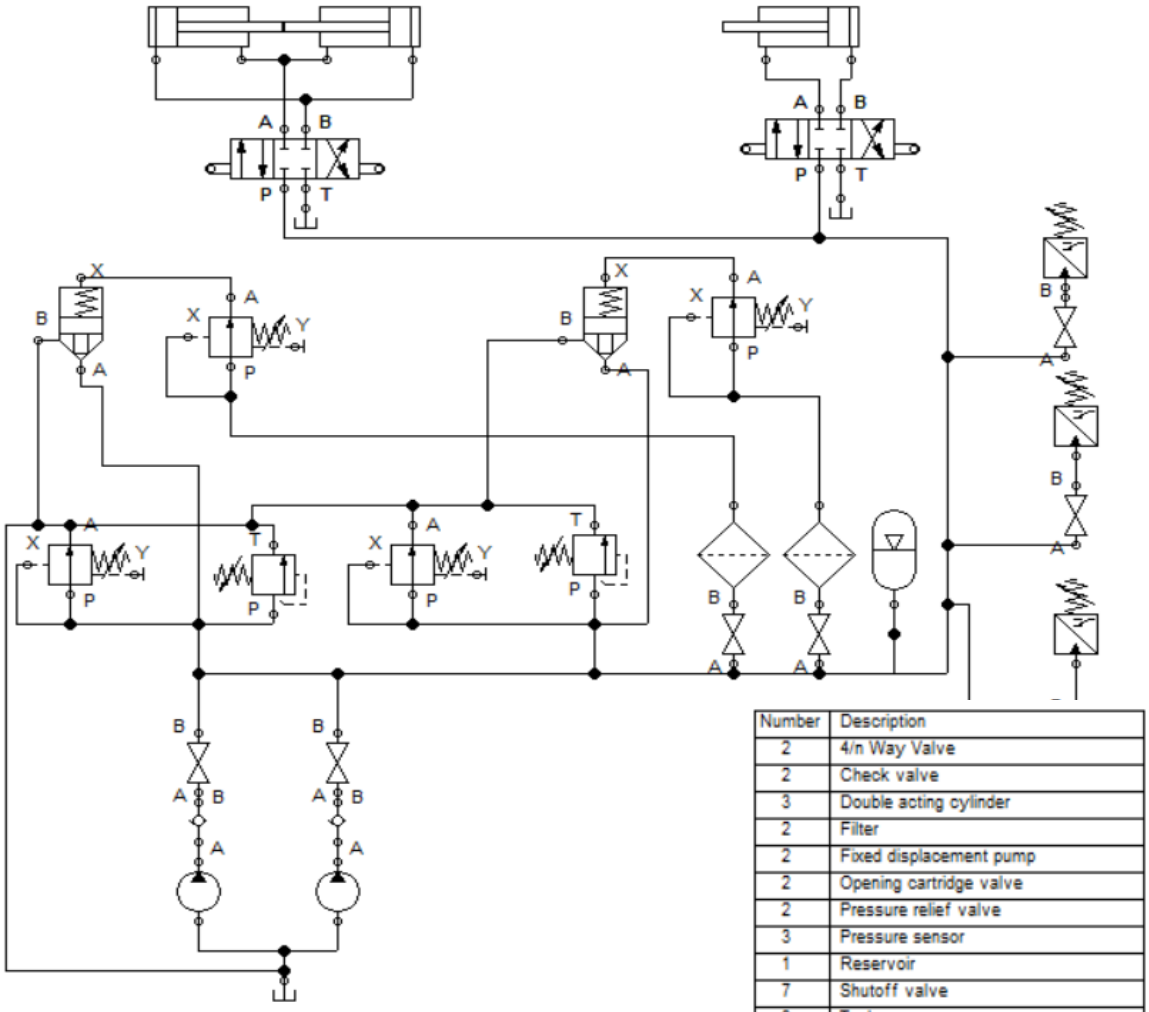


الشكل (4.5): الدارة الهيدروليكية للبوابة القوسية كما هي من الواقع في المحطة دون إجراء تعديل

المصدر: إعداد الباحث بواسطة برنامج Fluidsim

2.2.5 نمذجة الدارة الهيدروليكية المتحكمة ببوابات التوجيه المتحركة والشفرات العاملة

تم نمذجة الدارة الهيدروليكية المغذية لمجموعة للأسطوانة الهيدروليكية المتحكمة بميكانزيم تحريك شفرات الدولاب العامل ومجموعة الأسطوانة الهيدروليكية المزدوجة المتحكمة بميكانزيم تحريك بوابات التوجيه المتحركة.



Number	Description
2	4/n Way Valve
2	Check valve
3	Double acting cylinder
2	Filter
2	Fixed displacement pump
2	Opening cartridge valve
2	Pressure relief valve
3	Pressure sensor
1	Reservoir
7	Shutoff valve
3	Tank
4	Variable closing pressure compensator

الشكل (5.5): الدارة الهيدروليكية المتحكمة ببوابات التوجيه المتحركة والشفرات العاملة

المصدر: إعداد الباحث بواسطة برنامج Fluidsim

الدارة الهيدروليكية الواردة في الشكل (5.5) تمثل الواقع الحالي وكامل تجهيزات المنظومة الحالية وورد شرح مفصل عن أجزائها في الفصل الرابع من هذا البحث في باب 3.1.4 وحدة الزيت الهيدروليكي المضغوط. ووفق تحليل الدارة وجد أن جميع التجهيزات الموجودة هي تجهيزات أمان وآخرى مهمتها المحافظة على تأمين تغذية مستمرة لزيت الهيدروليكي بضغط مستقر بقيمة $40\ Kg_f/cm^2$. في حين أن العنصر الوحيد الذي يؤثر على التحكم في الاسطوانة سواءً أكان في اتجاه الحركة و مقدار الإزاحة أو دقة الموقع هو الصمام التوجيهي 4/3 من نمط on/off مغلق في الحالة الطبيعية (قفل) يتم تشغيله من خلال عتلات ميكانيكية وفق مبدأ زمني كما تم ذكره في الفصل الرابع الباب 5.1.4 خزانة التحكم الهيدروميكانيكية كما يلاحظ من الدارة أن مقدار الازاحة للأسطوانة لا يدقق بواسطة متتبع أو مقياس يؤدي إشارة عائدة أو ما يسمى feedback.

3.5 منصة الاختبار الأولى

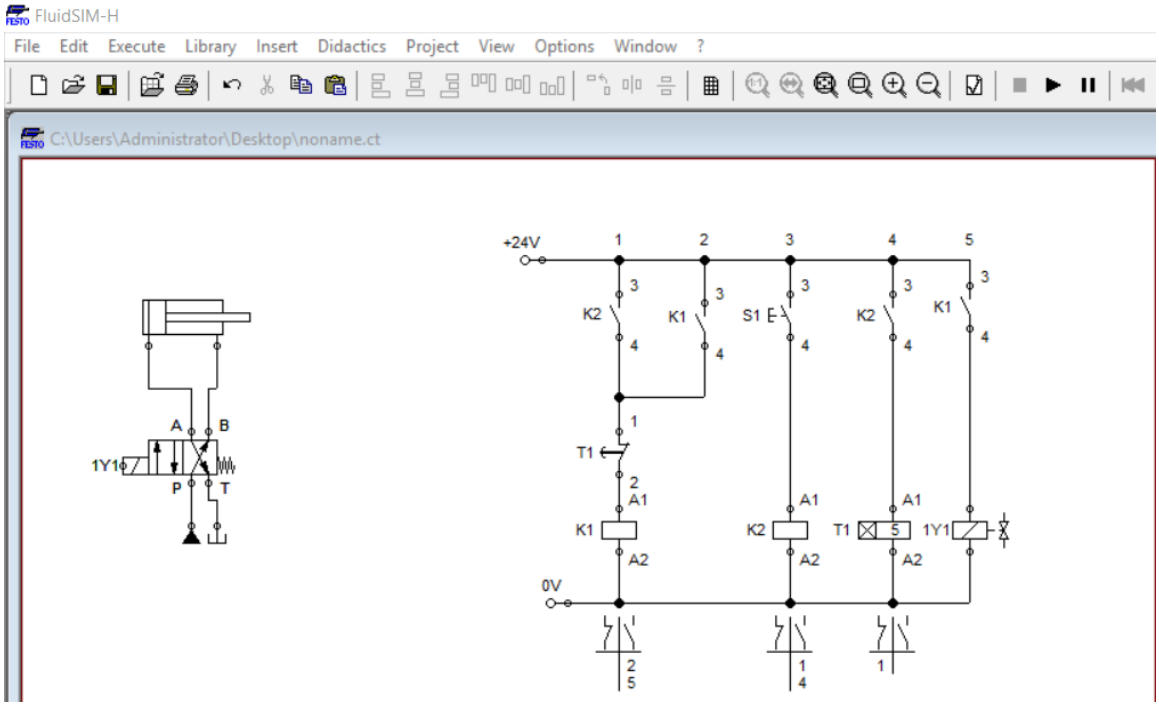
ولأجل التحقق من عمل الدارة وكفاءتها تم إنشاء منصة اختبار أولى يوضحها الشكل (5.7) ووفق المخطط في الشكل (6.5) تتكون من:

1. مضخة هيدروليكية تعطي ضغط لتجربة بقيمة Kg_f/cm^2 أو مايقابله 39 bar
2. صمام 4/2 هيدروليكي بعودة نابضية يتحكم به كهربائيا .
3. أسطوانة هيدروليكية ثنائية التأثير.
4. عتلة مزودة بدحروج (Micro Switch Lever with Roller) استخدمت كنقطة مرجعية دليلية(تبعد 10cm) ترسل نبضة كهربائية عند تفعيلها.
5. منبه صوتي

6. تماسات تحكمية

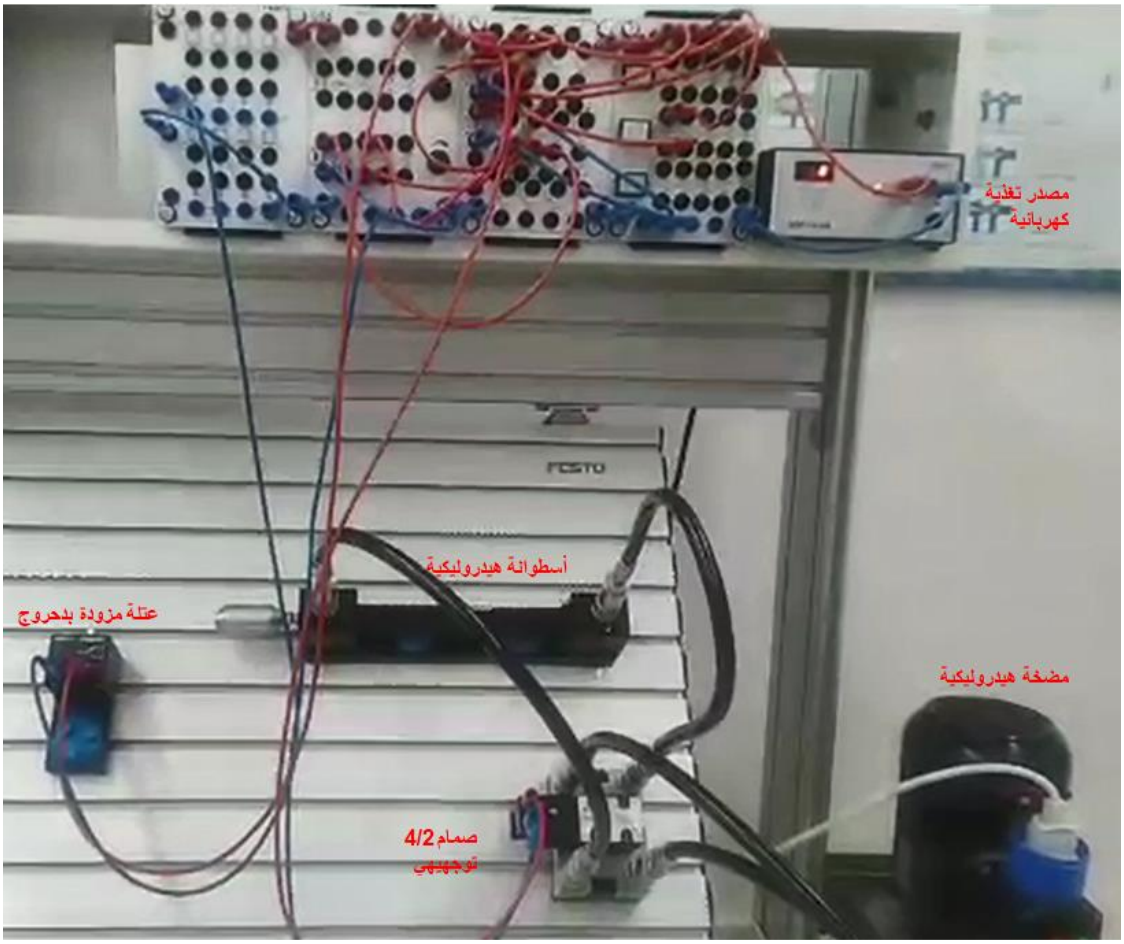
7. مؤقت زمني عير على زمن 5 sec.

كامل شوط الاسطوانة 20 cm. تستغرق الاسطوانة زمن مقداره 10 sec حتى اتمام شوط كامل نظريا زمن 5 sec هو الزمن الذي يجب ان تستغرقه الاسطوانة حتى اتمام ازاحة بمقدار 10 cm.



الشكل (6.5): يوضح مخطط هيدروليكي لمنصة الاختبار الأولى التي تم إجراءها ضمن مخبر التحكم الهيدروليكي في كلية الهمك_جامعة دمشق

المصدر: إعداد الباحث بواسطة برنامج Fluidsim



الشكل (7.5): منصة الاختبار الأولى التي تم إجراءها ضمن مخبر التحكم الهيدروليكي في كلية الهمك_جامعة دمشق

المصدر: إعداد الباحث

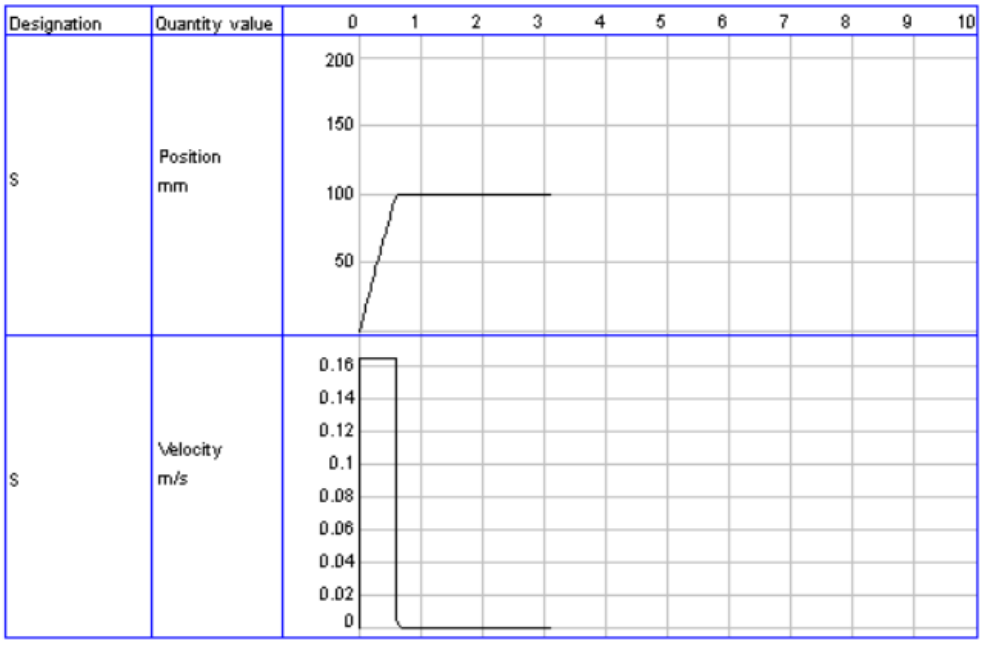
متطلبات الاختبار أن يعطى أمر تفعيل للصمام ليقوم بفتح المجال أمام الزيت المضغوط للتدفق ودفع الأسطوانة للأمام حيث كان زمن إعطاء أمر الفتح لصمام 5 sec والذي يوافق ازاحة بمقدار 10 cm. تم تكرار التجربة لعشرين مرة وفي كل تكرار يتم قياس مقدار الإزاحة باستخدام بياكوليس لدقة وكانت النتائج كتالي:

الجدول (1.5): نتائج تكرار التجربة في المنصة الأولى

رقم التسلسلي لتكرار	مقدار التقدم (الإزاحة) cm
1	9.7
2	9.8

9.9	16- 3
10	17-9-5-4
10.1	20-18-15-13-8-6
10.2	19-14-10

يظهر الجدول أن تكرارات 2،1 أعطت قيمة أقل من الازاحة المتوقعة وهذا يتوافق مع النطاق الميت Dead band حيث أن هنالك جزء من بداية الإشارة التي تؤدي إلى إزاحة spool للصمام الهيدروليكي التوجيهي لا يقابله تدفق مما يعجل جزء من الإشارة أو الأمر غير فعال مما أدى إلى انخفاض مقدار الازاحة، لكن باستمرار التكرار يظهر خطأ التباطؤ والذي ينشأ من استمرار تحرك الصمام والذي يؤدي لوجود فروق بين موقع الاسطوانة في التقدم عن موقعها في حالة العودة. في حين التأرجح حول قيمة الازاحة 10.1 هي ناتج عن الخطأ الخطي للمنظومة ويمكن أن يحدد عرض مجال الخطأ الخطي ب 0.2 cm. تم توضيح مفاهيم الأخطاء المسببة للارتياب بعمل الصمام التوجيهي في الفصل الثالث باب 4.3.3 دراسة خطأ الإزاحة للأسطوانات الهيدروليكية.



الشكل (8.5): منحني عمل الأسطوانة الهيدروليكية المتحكم فيها بواسطة الصمام التوجيهي

يوضح الشكل (8.5) منحني أداء الأسطوانة من حيث السرعة خطيا متزايد حتى لحظة الوصول الى نقطة التوقف يحدث توقف مفاجئ. كما أن مخطط الإزاحة المقابل تتقدم الاسطوانة الى نقطة التوقف المفروضة وفق خط مستقيم (بالمقارنة مع الزمن) يزداد التقدم حتى لحظة الاغلاق الفجائي للصمام. حيث يفترض ان التقدم وصل الى النقطة المرادة هو ما شكل أن تأرجح مجال الخطأ الخطي بقيمة أعلى من القيمة المطلوبة وليس على طرفيها. وإنما شكلت القيمة المطلوبة قيمة طرفية دنيا. وهذا تطلب تعديل وتطوير هذه المنصة إلى المنصة الثانية للوصول إلى نتيجة أفضل.

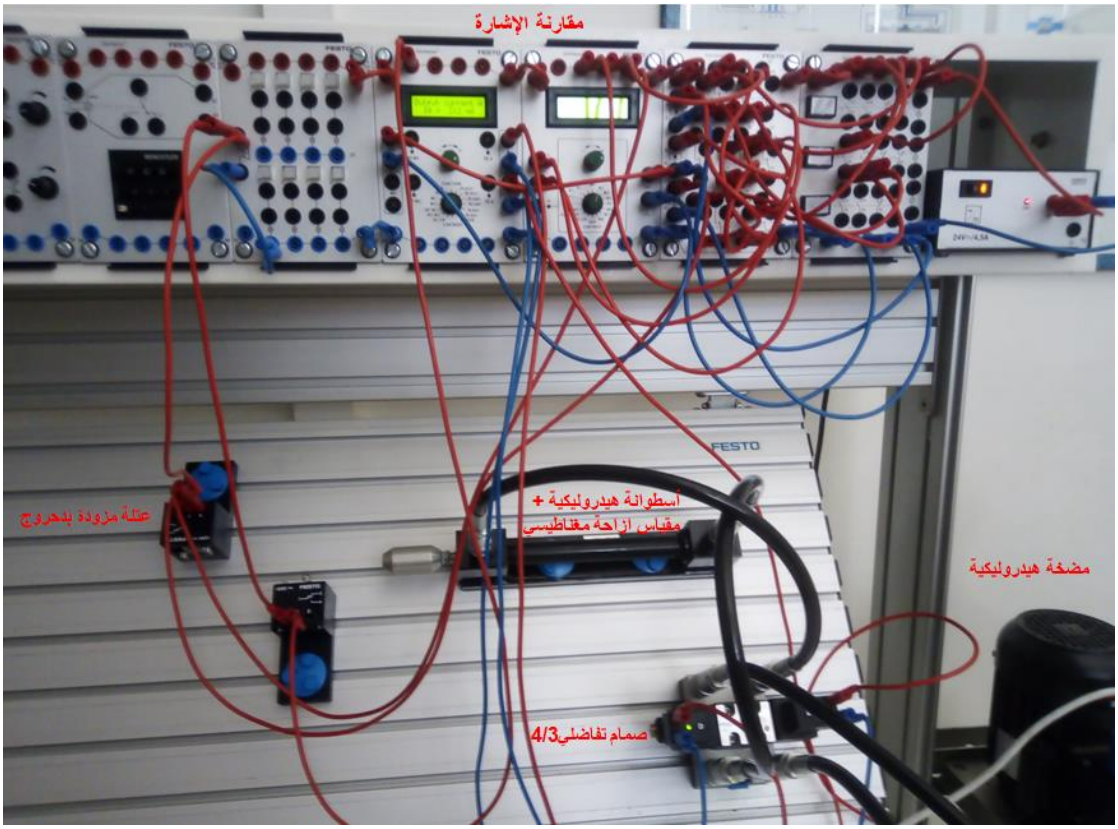
4.5 منصة الاختبار الثانية

وعليه اقترح استبدال الصمام الحالي بصمام تفاضلي 4/3 مقترح التحكم به يكون وفق ملفات كهربائية Solenoid. يقدم امكانية التحكم بكمية التدفق ومعايرته مما يعطي دقة عالية فيما يخص بموقع الاسطوانة ولأجل زيادة الفعالية وتتبع الموقع ومقدار الازاحة بدقة يجب وضع مقياس إزاحة (حيث هنا تم اقتراح مقياس مغناطيسي) لتتبع المستمر لموقع الاسطوانة وتحديد الموقع الفعلي وإمكانية إرسال إشارة Feedback لأجل مقارنتها مع الموقع أو مقدار الإزاحة المطلوب حيث كما تم طرحه ومناقشته في الفصل الثالث باب 3.3 أدبيات البحث فيما يخص في خوارزمية التحكم PID والتي تقارن مقارنة الخطأ المستمرة وتحقيق الاستقرار في الدارة. عناصر منصة الاختبار الثانية هي:

1. مضخة هيدروليكي تعطي ضغط لتجربة بقيمة $40\ Kg_f/cm^2$ أو مايقابله 39 bar
2. صمام 4/3 هيدروليكي تناسبية Proportional بعودة نابضيه يتحكم به كهربائيا .
3. أسطوانة هيدروليكية ثنائية التأثير+ مقياس ازاحة مغناطيسي.
4. عتلة مزودة بدحروج (Micro Switch Lever with Roller) عدد 2.
5. مؤقت زمني

6. متحكم PID

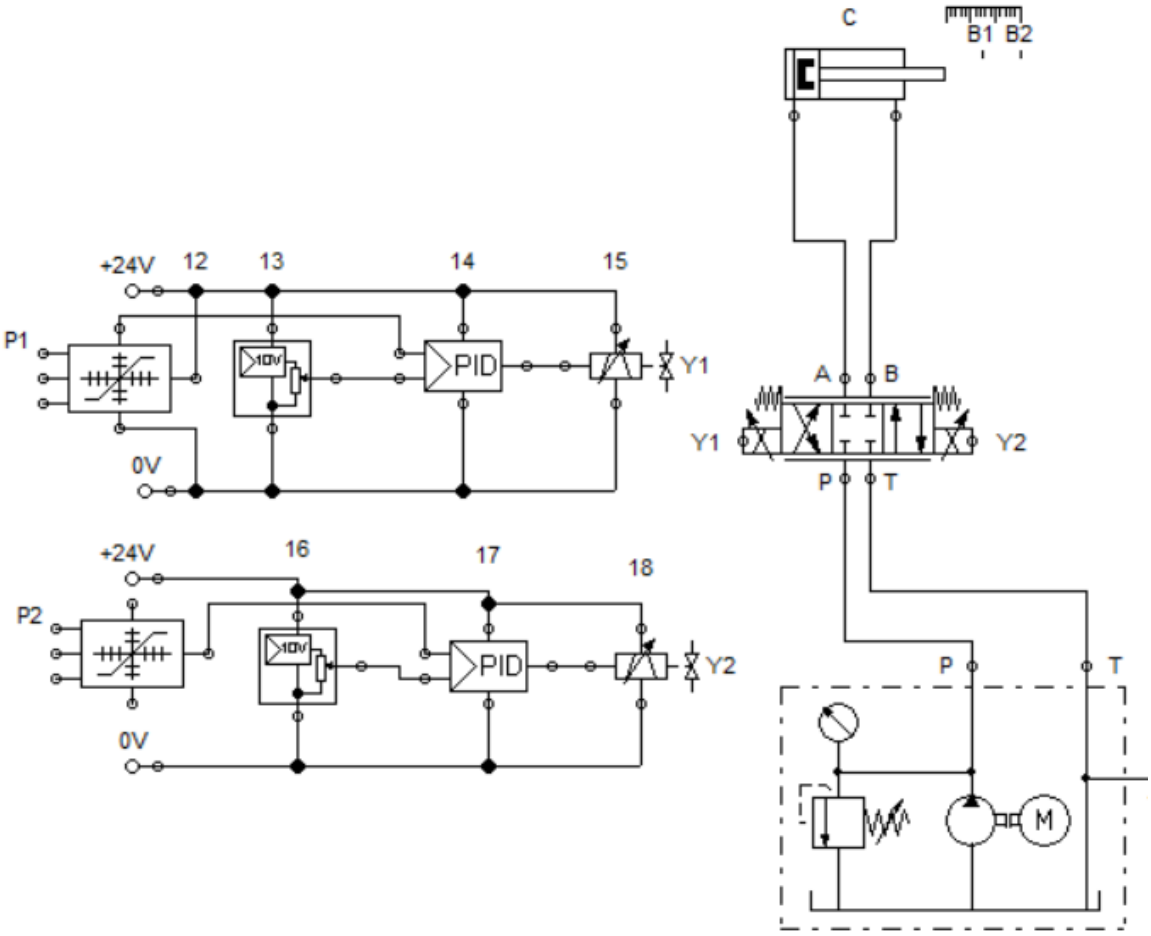
تم وضع العتلة الأولى على بعد 10 cm والعتلة الثانية على بعد 15 cm حيث تم معايرة أنه يجب تقدم باتجاه النقطة الأولى والبقاء لزمن قدرة 30 sec (حتى يتمكن الباحث من التأكد أن الازاحة توقفت عند القيمة المطلوبة) ومن ثم التقدم باتجاه النقطة الثانية والعودة باتجاه النقطة الاولى وتكرار 10 مرة. كانت النتائج أنه بالاستمرار حتى في حالة تجاوز الاسطوانة النقطة المطلوبة تعود لتصحيح الوضع. يوضح الشكل (9.5) و(10.5) المنصة.



الشكل (9.5): منصة الاختبار الثاني التي تم إجراءها ضمن مخبر التحكم الهيدروليكي في كلية الهمك_جامعة دمشق

المصدر: إعداد الباحث

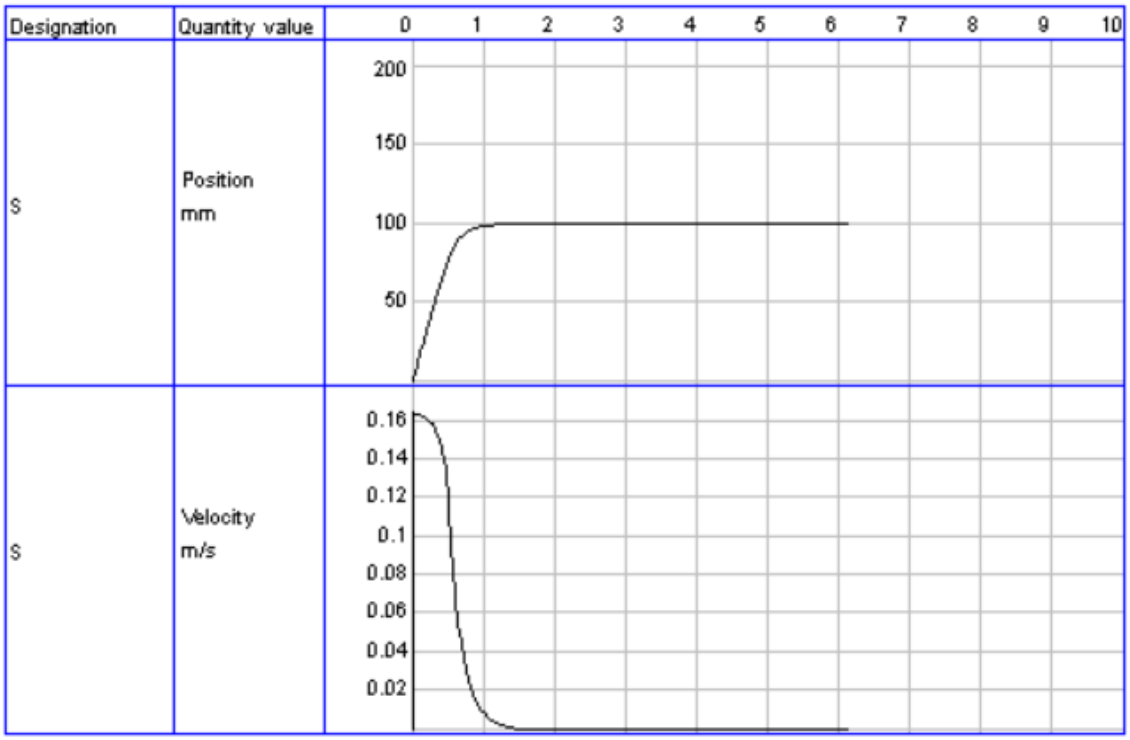
في حين مخطط المنصة الثانية يوضح بالشكل (10.5).



الشكل (10.5): مخطط منصة الاختبار الثاني التي تم إجراءها ضمن مخبر التحكم الهيدروليكي في كلية الهمك_جامعة دمشق

المصدر: إعداد الباحث بواسطة برنامج Fluidsim

في حين أداء الأسطوانة يوضح في الشكل (11.5) منحني أداء الأسطوانة من حيث السرعة فهي منحني يتسارع حتى لحظة الاقتراب من النقطة المرادة ومن ثم يتباطأ حتى التوقف. كما أن تتقدم الأسطوانة وفق منحني يتناقص بشكل متناسب حتى التوقف.



الشكل (11.5): منحني عمل الأسطوانة الهيدروليكية المتحكم فيها بواسطة الصمام التناسبية

المصدر: إعداد الباحث بواسطة برنامج Fluidsim

5.5 المقارنة بين منصتي الاختبار

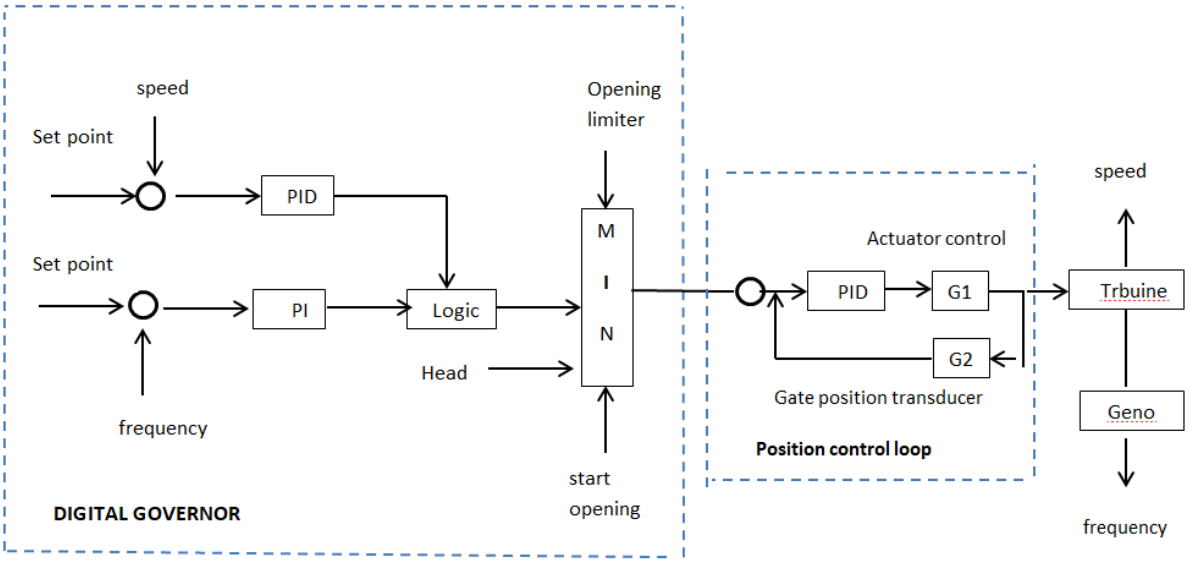
الجدول (2.5): المقارنة بين منصتي الاختبار

	منصة الاختبار الأولى	منصة الاختبار الثانية
منحني سرعة الأسطوانة	منحني أداء الأسطوانة من حيث السرعة خطيا متزايد حتى لحظة الوصول الى نقطة التوقف يحدث توقف مفاجئ.	منحني أداء الأسطوانة من حيث السرعة فهي منحني يتسارع حتى لحظة الاقتراب من النقطة المرادة ومن ثم يتباطأ حتى التوقف.

منحني تقدم الأسطوانة	مخطط الإزاحة المقابل تتقدم الاسطوانة الى نقطة التوقف المفروضة وفق خط مستقيم (بالمقارنة مع الزمن) يزداد التقدم حتى لحظة الإغلاق المفاجئ للصمام. حيث يفترض ان التقدم وصل الى النقطة المطلوب.	تتقدم الأسطوانة وفق منحني يتناقص بشكل متناسب حتى التوقف
ارتياب خطأ التقدم	وفق التجربة أظهر التكرار للعملية أن هنالك ارتياب خطأ بمقدار التقدم.	وفق التجربة أظهر التكرار لعملية التقدم للأسطوانة أن الخطأ في مقدار الإزاحة يتم تصحيحه بشكل أتوماتيكي ومتقارب حتى الوصول للإزاحة المطلوبة
سبب الخطأ	1- إن أمر الإغلاق للصمام هو في لحظة وصول الأسطوانة لنقطة التقدم المطلوب و لكن عمليا يوجد تأخر زمني يؤدي الى ارتياب في توقف.2- الارتياب في دقة الازاحة وفق نظام الصمام التوجيهيon/off لا يتم قياسه او تحديده. وايضا لا يتم تصحيحه بشكل ذاتي. وذلك لان النظام التحكمي الموضوع يصنف open loop. 3- آثر كل من الخطأ الخطي وخطأ النطاق الميت والخطأ التباطؤ له دور كما شرح في باب منصة الاختبار الأولى	مقدار الخطأ في مقدار الإزاحة صغير وذلك بسبب ان منحني أداء الأسطوانة من حيث السرعة فهي منحني يتسارع حتى لحظة الاقتراب من النقطة المرادة ومن ثم يتباطأ حتى التوقف. والذي يلعب الدور في تقليل الارتياب في الوصول لنقطة الازاحة المرادة وهذا يتم بواسطة الصمام الهيدروليكي التفاضلي
معالجة الخطأ	بسبب عدم وجود إشارة راجعة و مقارنة للبارامتر المقاس مع الإشارة المرجعية حتى يصل الفرق لصفر. لا يمكن القيام بمعالجة الخطأ.	في حال وجد مقدار خطأ صغير في الإزاحة سوف يتم تصحيحه وذلك بسبب أن المنظومة تتبع نظام تحكمي مغلق والذي يتضمن إشارة راجعة تلعب دورا في تحديد الموقع الفعلي للأسطوانة ومن ثم مقارنته مع مقدار الازاحة المطلوبة. ومن ثم إجراء التصحيح لنقطة تصبح عندها كل من مقدار الإزاحة الفعلية المقاسة والمطلوبة

6.5 المنظم الديجيتال والخوارزمية PID المقترحة

بتوافق مع نتائج المناقشة في الفصل الثالث من هذا البحث باب 1.3.3 وباب 2.3.3.



الشكل (12.5): مخطط مبسط لمنظم الديجتال المقترح

المصدر: إعداد الباحث

ببساطة، تحتوي توربينات كابلان على إشارتي تحكم، زاوية فتحة بوابات التوجيه المتحركة Wicked Gate ومواضع شفرات التوربين، والطاقة الميكانيكية والتي تقابلها الطاقة الكهربائية المولدة مع اخذ بالحسبان عامل الكفاءة الخاص بالمولد. من الناحية النسبية، تتمتع بوابات التوجيه المتحركة بتأثير ديناميكي سريع ولكنه صغير على الطاقة الميكانيكية، بينما تتمتع شفرة التوربين بتأثير ديناميكي بطيء وكبير على المخرجات حول نقطة التشغيل. تتحكم بوابات التوجيه المتحركة القابلة للتعديل في تدفق المياه إلى حجرة التوربين. بعد اجتياز الحجرة، يتم توجيه المياه إلى شفرات التوربين القابلة للتعديل حيث يتم تحويل الطاقة الحركية إلى دوران التوربين. يتحكم المنظم في خرج التوربين من الطاقة الميكانيكية. للحصول على أقصى قدر من الكفاءة، أي إنتاج الطاقة المطلوبة بأقل تكلفة لتدفق المياه، يجب تنسيق تعديلات بوابات التوجيه وشفرات التوربين. يتم التحكم في تعديل بوابات التوجيه المتحركة مباشرة بواسطة منظم التوربين. بالنسبة لكل موضع من بوابات التوجيه المتحركة، يتم ضبط شفرات التوربين إلى التركيبة الأكثر كفاءة من الاثنين، بواسطة علاقة التوليف Cam Curve. تعتبر خصائص وتركيبة بوابات التوجيه المتحركة وشفرات التوربينات أساسية عندما يتعلق الأمر بتحسين قدرة التوربين على التشغيل. إن تغيير الحمل سيؤدي إلى تعديل بوابات

التوجيه المتحركة من أجل التعويض عن التغيير في طلب الطاقة. نظرًا لأن شفرات التوربينات يتم ضبطها بشكل أبطأ من بوابات التوجيه المتحركة، فلن يحدث التأثير الكامل لتغيير توليد الطاقة حتى تصل شفرات التوربينات إلى موضعها الأمثل. وبحلول ذلك الوقت، قد يكون التغيير في سرعة التوربين ويقابله التردد المولد قد نما بشكل كبير وستحتاج بوابات التوجيه إلى التعويض عن ذلك. وبالنسبة للتغيير الأكبر في الحمل، فقد يؤدي هذا إلى التذبذب والاستقرار البطيء للتردد. في أسوأ الأحوال، ستؤدي التذبذبات إلى عدم الاستقرار. حتى الآن، لا يوجد الكثير مما يمكن العثور عليه في الأدبيات التي تدرس على وجه التحديد إدارة توربينات كابلان التي تعمل على منظمات ميكانيكية. تصف معظم المنشورات محطات الطاقة الكهرومائية بشكل عام، حيث يكون استخدام منظمات PID منتشرًا على نطاق واسع. وقد نظرت الأبحاث الحديثة في النماذج غير الخطية ذات المدخل الواحد والمخرجات المتعددة، بما في ذلك تأثير انضغاط الماء. لقد ثبت أن الحاكم المتتالي متعدد الحلقات المقترح باستخدام تحسين متعدد الحدود H1 أفضل من الحاكم التقليدي PID (N. Kishor. 2007). حيث يعد H1 أحد نماذج شبكة تبادل النماذج المشتركة والتي تدعى (CGMES) والذي يعتمد ضمن المعايير الفرعية لاتحاد مشغلي أنظمة نقل الكهرباء الأوروبية (تم شرحها في الفصل الثالث باب 2.3.3 نموذج التوربين– المولد The turbine-governor model).

7.5 النتائج

رفع الدقة في تحديد موقع الاسطوانة والحصول على قيمة إزاحة فعلية تطابق الإزاحة المرجعية وفق التعديلات المقترحة. ينعكس إيجابا على تفادي الخسائر الحاصلة والمناقشة وفق الجدول (2.4) صفحة 75، والذي يشمل

تفسير وحساب الضياعات للقياسات التي تم أخذها بتاريخ 2024 من قبل مشغلي سد الفرات لكل من زاوية فتح شفرات الدولاب العامل وقياس شوط السيرفو لبوابات التوجيه المتحرك. وفي حال مقارنة تلك الخسائر مع القيمة السوقية المتوسطة عالميا لسعر الكيلوواط ساعي (worldpopulationreview.com. 2024) والذي قدر ب 0.25 (دولار أمريكي) لكل KWH نجد أنه:

الجدول (3.5): حساب قيمة الضياع

المجموعة التوليدية	القدرة الضائعة مقدرة ب KW	القيمة السوقية الساعية (دولار أمريكي)	مقدار الضياع السنوي (دولار أمريكي)
الأولى	8000	0.25X8000=2000	720000
الثامنة	1500	0.25X1500=325	135000

كما أن التوقفات نتيجة العمرات كما يحصل في المجموعة السابعة بسبب الإجهادات على الشفرات التي توقفت منذ الشهر 7 في سنة 2024 ولمدة شهر لأجراء صيانة وعمليات لحام لشفرات المتشققة والموضحة في الشكل (19.4) تؤدي لخسائر اقتصادية يمكن حسابها. حيث أن القدرة المولدة الساعية الفعلية المتوسط 90000 KWH وعلى مدى شهر كامل تصبح تقديرا 64,800,000 KWH ومنه 16,200,000=0.25X64,800,000(دولار أمريكي). إن هذه الخسارة يمكن جعلها كسب في حال جعل مجموعة التوليد تعمل بكفاءة أعلى ومن خلال تنظيم المجرى المائي الموجه على شفرات التوربين والاستفادة بأكبر قدر من القوة الحركية للماء لتحويلها لطاقة خرج ميكانيكي مع الحفاظ على شفرات التوجيه المتحركة. النتائج المستنبطة من الدراسة المقدمة تفضي إلى أن التعديلات المقترحة تهدف إلى تحويل المنظومة الحالية إلى منظومة مطورة أعلى كفاءة وموثوقية، والتي تتضمن التحكم الهيدروليك للأسطوانات الخاصة بالبوابات بواسطة صمامات هيدروليكية تفاضلية تقاد عبر نظام تحكمي مبرمج (منظم للتوربين ديجيتال) يقاد بواسطة PLC ويستخدم خوارزمية PID بحلقة مغلقة (تضمين إشارات تحكمية راجعة). يقترح استخدام تجهيزات

هيدروليكية وإلكترونية ذات حساسية ودقة عالية وبموثوقية مرتفعة وفق ضمان شركات مصنعة عالمية. التعديلات المقترحة تاليا تضمن التحول إلى النظام المطور المدروس بحيث يتناسب مع التجهيزات الميكانيكية والتكويّن الحالي للمحطة ومراعاة إمكانية التنفيذ بالإمكانيات الحالية. وتحويل الخسارة لكسب اقتصادي وتنظيم عمرات الصيانة وفق فترات طويلة نتيجة لأن التحكم الدقيق بالبوابات والشفرات يجنب الشفرة التعرض للإجهادات الشاذة. وبالتالي تجنب الصيانات الغير مخطط لها.

التوصيات والمقترحات

يوصي البحث تطبيق التطوير المقترح والحصول على النتائج المرجوة والتي تتمثل بتحول الفاقد الكهربائي (الاستطاعة الضائعة) الناتج عن الانحراف عن علاقة التوليف المثلى cam curve لكسب متولّد كاستطاعة كهربائية تغذي الشبكة الكهربائية وذلك من خلال استبدال حاكم السرعة الميكانيكي ЭГРК-200-Э لمجموعة التوربينات ال8 بحاكم ديجتال متحكمه PLC يحوي الخوارزمية التحكمي PID وتزويد المنظومة ككل بالتجهيزات التالية:

1-ملفات كهربائية Electrical Solenoid و مضخم إشارة يستقبل إشارات كهربائية تحكمية من وحدة الخرج ل PLC (حاكم السرعة الديجيتال) يزود بها الصمامين الهيدروليكيين (المنزلقات الرئيسية).

2-مسطرة ديجتال ممغنطة كمرسل لموقع الاسطوانة تركب على جسم كل من سيرفو بوابات التوجيه المتحركة وسيرفو شفرات الدولاب العامل.

3-استبدل منظومة قياس التردد بأخرى ديجتال تحوي مرسل لقراءة قيمة التردد كإشارة دخل كهربائية للحكام الديجيتال.

4-مقياس رقمي Encoder سرعة دوران محور العنفة الرئيسي.

5–مقياس رقمي لمنسوب المياه.

6–مقياس رقمي Encoder لكل من زاوية فتحة بوابات التوجيه المتحركة و زاوية الشفرات المتحركة لدولاب العامل.

المخرج الأساسي للبحث هو تخفيض عجز توليد القدرة الكهربائية والهدر في المخزون المائي خلف السد وأيضا تقليص حجم الصيانات و إطالة عمر بعض الأجزاء الميكانيكية للتوربين. وذلك جعل منظومة بوابات التوجيه المتحركة و شفرات الدولاب العامل تعمل بشكل منتظم وانسيابي وفق منحني علاقة التوليف Cum Curve التي تم تقديمها من قبل المعهد الدارس والمصمم لسد الفرات. يقترح البحث مستقبلا التدقيق في علاقة التوليف المثلى ودراسة أمثليتها وإمكانية إيجاد منحني علاقة توليف يفضي لعمل التوربين بسلاسة وكفاءة أعلى.

البحث اعتمد على علاقة التوليف المقدمة من المعهد السوفيتي الدارس والتي اعتبرت علاقة مثلى استنبطت رياضيا وتجريبيا . يوجد في الفترة التي اعد فيها البحث عدة دراسات وأبحاث تقوم بإعادة تحديد ودراسة ومن ثم تطوير علاقة التوليف للتوربينات من نوع Kaplan من خلال إيقاف المجموعة ووضع مقاييس تدفق وإجهادات وتحصيل النتائج. هذا يمكن أن يتم دراسته في أبحاث لاحقة من قبل الباحث أو باحثين آخرين ويمكن الاعتماد على نتائج دراسة علاقة التوليف في هذا البحث كمنطلق لذلك. كما أن البحث ركز على مشكلة تشقق الشفرات فقط فيما يخص الضرر الحاصل على شفرة الدولاب العامل. حيث يوجد مشكلات أخرى وهي الصدمة المائية والتكهف والتي لها أسباب لا تتعلق بدقة موقع الاسطوانة وإنما بمواصفات وأبعاد المجرى المائي وسرعة أغلاق البوابات وفتحها ومواصفات وطبيعة الجريان ما بعد خروج الماء من حجرة التوربين إلى نفق السفلي وخاصة في حالات إيقاف المجموعة يمكن اعتماد نتائج البحث وخاصة النماذج الحاسوبية كمنطلق.

المراجع:

1. الهكار (فراس)، 2017، سد الفرات من التشييد إلى الخروج عن الخدمة، صحيفة الأيام العدد السادس عشر الصادر في يوم الأحد السادس عشر من نيسان عام 2017م.
2. James, J.S.;William, J.M. Introduction to failure analysis and prevention. In Failure Analysis and Prevention;William, T.B., Roch, J.S., Eds.; ASM International: Materials Park, OH, USA, 2002; pp. 3–23
3. Pohan, K.; Kiyoshi, M.; Norio, O.; Hua, D. Design of a Kaplan turbine for a wide range of operating head—Curved draft tube design and model test verification. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science; IOP Publishing: Bristol, UK, 2016; Volume 49, p. 022009
4. Bryan,W.K.; Stanislav, P.; Qinfen, Z.; Aleksandar, G. Design Challenges in Hydropower Systems: Trade-offs and difficulties in operation. In Proceedings of the 2nd International Conference on Electric Technology and Civil Engineering (ICETCE 2012), Hubei, China, 18–20 May 2012.
5. Nicklas, H. Analysis of Hydraulic Pressure Transients in the Water Ways of Hydropower Stations; Uppsala University: Uppsala, Sweden, 2011.
6. Akkats Power Station, Vattenfall's European Energy Company. 2002. Available online: http://powerplants.vattenfall.com/node/ 338 (accessed on 5 March 2023).
7. Bryan, W.K.; Liu, D.; Wang, F.; Qinfen, Z. Pump-turbine runner lifting during load acceptance: An exploration of possible causes. In Proceedings of the 10th International Conference on Pressure Surges, Edinburgh, UK, 14–16 May 2008.
8. Pejovic, S.; Zhang, Q.; Karney, B.; Gajic, A. Key invited article, Analysis of Pump-Turbine "S" Instability and ReverseWaterhammer Incidents in Hydropower Systems. In Proceedings of the 4-th International Meeting on Cavitation and Dynamic Problems in Hydraulic Machinery and Systems, Belgrade, Serbia, 26–28 October 2011; pp. 1–16.
9. Hasler, J.P. Investigating Russia's Biggest Dam Explosion: What Went Wrong, Internet. 2010.Available:online:http://www.popularmechanics.com/technology/engineering/gonzo/4344681 (accessed on 5 March 2023).

10. Accident at Russia's Biggest Hydroelectric Plant, Halffast. 2012. Available online: https://www.dailymail.co.uk/news/article-1207093/Accident-Russias-biggest-hydroelectric-plant-leaves-seven-workers-dead.html (accessed on 5 March 2023).
11. Pejovic, S. Electricity and Water Systems at High Risk—Hydro Projects: Lessons to Learn! Available online: http://myelab.net/cane/HydroProjectsOttawa.pdf (accessed on 6 March 2023)
12. Zhu, P.; Zou, S.; Xie, Y. Simulation research on electro-hydraulic proportional position control system of hydraulic excavator. Mech. Eng. Autom. 2019, 5, 104–106.
13. Sun, C.; Wu, L.; Xi, G. Design and Application of Electro-Hydraulic Servo Fuzzy PID Position Control System. Mach. Des. Manuf. 2016, 6, 155–157, 162.
14. Li, L.; Lin, Z.; Jiang, Y.; Yu, C.; Yao, J. Valve Deadzone/Backlash Compensation for Lifting Motion Control of Hydraulic Manipulators. Machines **2021**, 9, 57.
15. Yang, H.; Guo, Y.; Zhang, H.; Wang, X.; Lin, B.; Dang, Y. Development of the hydraulic cylinder position control system based on electromagnetic directional valve. Mach. Des. Manuf. Eng. 2020, 49, 101–104.
16. Zhou, C.;Wen, G.; Qing, X. Study of electro-hydraulic position control system using solenoid directional valve. Eng. J. Wuhan Univ. **2017**, 50, 760–765.
17. Jin, L. Study on the Precise Position Control of Hydraulic Cylinder Using Solenoid Operated Directional Control Valve. Ph.D. Thesis, Zhejiang University, Hangzhou, China, 2019.
18. Jin, B.; Zhu, S.; Zhang, G.; Lin, J. Study on parallel conference control system. J. Mech. Eng. 2000, 36, 72–75+82.
19. Cheng Ruzhen, Yao Pingxi, Research on non-impact starting and stopping process of hydraulic cylinder, Fluid Power Transmission & Control, Issue 2, 2011, pp. 28-30.
20. Jin Bo, Zhu Yaguang and Li Wei. PID parameters tuning of proportional directional valve based on multiple orthogonal experiments method: method and experiments. Zhejiang University. China. 2013.
21. R. Zhou L. Meng, X. Yuan, Z. Qiao, Research and Experimental Analysis of Hydraulic Cylinder Position Control Mechanism Based on Pressure Detection. Article, Machines, 2021.

22. Wang, T., Song, Y., Huang, L., & Fan, W. (2016). Parameter Tuning Method for Dither Compensation of a Pneumatic Proportional Valve with Friction.
23. Vuong Vo. 2017. Hysteresis reduction in hydraulic proportional valve control: Tuningparameters in dither compensation method. Bachelor's thesis. 2017.p. 1,12
24. Buonamici, F., & Carfagni, M. (2016). Reverse engineering of mechanical parts: abrief overview of existing approaches and possible new strategies. In ASME 2016international design engineering technical conferences and computers andinformation in engineering conference, ASME
25. N. Kishor, R.P. Saini, S.P. Singh, A review on hydropower plant models and control, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2007, Vol.11(5), pp.776-796
26. Zhu, P.; Zou, S.; Xie, Y. Simulation research on electro-hydraulic proportional position control system of hydraulic excavator. Mech. Eng. Autom. 2019, 5, 104–106.
27. Sun, C.; Wu, L.; Xi, G. Design and Application of Electro-Hydraulic Servo Fuzzy PID Position Control System. Mach. Des. Manuf. 2016, 6, 155–157, 162.
28. Li, L.; Lin, Z.; Jiang, Y.; Yu, C.; Yao, J. Valve Deadzone/Backlash Compensation for Lifting Motion Control of Hydraulic Manipulators. Machines **2021**, 9, 57.
29. Yang, H.; Guo, Y.; Zhang, H.; Wang, X.; Lin, B.; Dang, Y. Development of the hydraulic cylinder position control system based on electromagnetic directional valve. Mach. Des. Manuf. Eng. 2020, 49, 101–104.
30. Zhou, C.;Wen, G.; Qing, X. Study of electro-hydraulic position control system using solenoid directional valve. Eng. J. Wuhan Univ. **2017**, 50, 760–765.
31. Jin, L. Study on the Precise Position Control of Hydraulic Cylinder Using Solenoid Operated Directional Control Valve. Ph.D. Thesis, Zhejiang University, Hangzhou, China, 2019.
32. Jin, B.; Zhu, S.; Zhang, G.; Lin, J. Study on parallel conference control system. J. Mech. Eng. 2000, 36, 72–75+82.
33. Cheng Ruzhen, Yao Pingxi, Research on non-impact starting and stopping process of hydraulic cylinder, Fluid Power Transmission & Control, Issue 2, 2011, pp. 28-30.
34. Jin Bo, Zhu Yaguang and Li Wei. PID parameters tuning of proportional directional valve based on multiple orthogonal experiments method: method and experiments. Zhejiang University. China. 2013.

35. R. Zhou L. Meng, X. Yuan, Z. Qiao, Research and Experimental Analysis of Hydraulic Cylinder Position Control Mechanism Based on Pressure Detection. Article, Machines, 2021.
36. Wang, T., Song, Y., Huang, L., & Fan, W. (2016). Parameter Tuning Method for Dither Compensation of a Pneumatic Proportional Valve with Friction.
37. Vuong Vo. 2017. Hysteresis reduction in hydraulic proportional valve control: Tuningparameters in dither compensation method. Bachelor's thesis. 2017.p. 1,12
38. Buonamici, F., & Carfagni, M. (2016). Reverse engineering of mechanical parts: abrief overview of existing approaches and possible new strategies. In ASME 2016international design engineering technical conferences and computers andinformation in engineering conference, ASME
39. N. Kishor, R.P. Saini, S.P. Singh, A review on hydropower plant models and control, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2007, Vol.11(5), pp.776-796

Abstract

This research was prepared in the context of preparing a master's thesis aiming to develop the hydraulic system responsible for controlling the gates operating on the waterway of a single turbine of the type (Kaplan 110 MW) in the hydroelectric power station in the Euphrates Dam. The reverse engineering principle was adopted as a scientific basis for the formation and design of hydraulic circuits modeled computer-based for the current reality of the system using the FLUIDSIM program. A computer model of the Euphrates Dam turbine was designed using the SOLDWORK program. The current reality of the system was analyzed, field readings and measurements were collected, and then a first test platform was created and a set of results was summarized for the first and eighth generation groups. From this, the points that must be developed to solve the problem referred to by the Euphrates Dam Foundation, which was confirmed by the study, were identified, i.e. the difference in the values of the measured angles of the gates and the operating blade from the ideal tuning curve. The proposed development aims to increase the operational accuracy and efficiency of the hydraulic system to reduce the waste in both barometers of a single turbine, which are the amount of electricity generated in MW and the amount of water flowing through the turbine in m^3. The PID control algorithm was used within the proposed digital speed governor instead of the mechanical speed governor used to test the proposed development and obtain the results. A second test platform was built, its results were compared with the first test platform, and the comparison results were presented according to explanatory charts.

Key words: Hydraulic system – Gates and operating blades – Kaplan turbine – Water dams – Reverse engineering – Cam curve – PID control algorithm

Syrian Arab Republic

Damascus University

Faculty of Mechanical and Electrical Engineering

Department of Mechanical Design engineering

Modeling And Developing Hydraulic operating system for Hydro Dams By Reverse engineering method
(Study case Euphrates Dam gates)

A Dissertation Submitted in Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master in Design and Build Machines

By

Engineer Yazan Almosa

Supervisor

Professor Dr. Issam Qarqout

Academic year

2024