Studying the Effect of Fluid Viscosity Difference on the Performance of Centrifugal and External Gear Pumps Using an Experimental Circuit that Simulates Blood Circulation in the Human Body

Dr. Ayoub Hasan*
Dr. Faten Ajeeb**
Ala'a Rahhal***

(Received 11 / 4 / 2022. Accepted 6 / 12 / 2022)

□ ABSTRACT □

In this research, the basic parameters of the work of centrifugal pumps and external gear, such as pressure, flow rate, and energy consumption, were compared when the viscosity of fluids changed and the stability of pipe diameters, using an experimental circuit that represents a mechanical model that explains the mechanism of action of the circulatory system in the human body, by replacing each component One of the components of the circulatory system with an engineering part that performs its work, as the device was operated using two fluids of different viscosity: the first is distilled water, and the second has a viscosity similar to the viscosity of blood, and the comparison process took place at values of systolic and diastolic blood pressure in the human body. the experiments has shown that: The pump that represents the left ventricle pump, which is a centrifugal pump, gave a systolic pressure P=118.72 mm Hg at a flow rate Q=78.3 L/hour with a power consumption of 29.15 W When the device was tested by using distilled water, by using a solution (glycerin-water) with a viscosity μ=0.003517 N.s/m^2, the pump gave a systolic pressure P=116 mm Hg at a volumetric flow rate of Q=63 L/hour with an energy consumption of 39.28W. While the pump representing the right ventricle pump, which is an external gears pump, gave a systolic pressure of P=102.74 mm Hg at a flow rate Q=15 L/hour with an energy consumption of 10.62W by using distilled water, and using a solution (glycerin- water), the pump gave a systolic pressure of P=119.63 mm Hg at a volumetric flow rate of Q=12.5 L/hour with a power consumption of 19.72 W, Thus, the centrifugal pump was the least affected by the change in the viscosity of the fluid working within the circuit, and it was the least consuming energy to maintain constant pressure values.

Keywords: External gears pump, Centrifugal pump, Viscosity Dynamic, Non-Newtonian Fluid, Concentration.

* **Professor, Department of power mechanical Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**
** **Assistant Professor , the Biomedical Engineering faculty, AL ANDALUS University for medical sciences , Tartus, Syria.**
*** **Postgraduate student (MSc), Department of power Mechanical Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. alaarahal@yahoo.com.**

دراسة تأثير اختلاف لزوجة الموائع على أداء المضخات الطاردة المركزية والمسننة الخارجية باستخدام دارة تجريبية تحاكي الدورة الدموية في جسم الإنسان

د. أيوب حسن*

د. فاتن عجيب**

علاء رحال***

(تاريخ الإيداع 11 / 4 / 2022. قُبِل للنشر في 6/ 12 / 2022)

□ ملخّص □

تم في هذا البحث مقارنة البارامترات الأساسيَّة لعمل المضخات الطاردة المركزية والمضخات المسننة الخارجية من ضغط ومُعدَّل تَّدفق واستهلاكِ طاقة، وذلك عند تغير لزوجة الموائع وثبات قطر الأنابيب، باستخدام دارة تجريبية تمثل نموذجاً ميكانيكياً يشرحُ آليةَ عملِ الدَّورةِ الدَّمويَّة في جسم الإنسان، عن طريق استبدال كلِّ مكوِّنٍ من مكوناتِ جهاز الدوران بجزءٍ هندسيّ يؤدي عمله، حيث تمَّ تشغيل الجهاز باستخدام مائعين مختلفي اللزوجة: الأوَّل ماء مقطَّر، والثاني ذو لزوجةٍ مشابهةٍ للزوجةِ الدَّم، وتمت عملية المقارنة عند قيم ضغط الدم الانقباضي والانبساطي في جسم الإنسان.

تبيَّن من التجارب: أنَّ المضخة الممثِّلة للبطين الأيسر وهي مضخة طرد مركزية أعطت ضغطاً انقباضياً P=118.72 mm Hg بمعدل تدفق Q=78.3 L/hour واستهلاكِ طاقةٍ 29.15 W وذلك عند التشغيل باستخدام الماء المقطر، وعند استخدام محلول (غليسيرين–ماء) ذو اللزوجة $\mu=0.003517\ N.s/m^2$ أعطت المضخة ضغطاً انقباضياً P=116 mm Hg بمعدل تدفق Q=63 L/hour واستهلاك طاقة 39.28 W، أما المضخة الممثلة للبطين الأيمن وهي مضخة مسننة خارجية أعطت ضغطاً انقباضياً P=102.74 mm Hg عند معدل تدفقٍ Q=15L/hour واستهلاك طاقة 10.62 W وذلك للماء المقطر، وعند استخدام محلول(غليسيرين–ماء) أعطت المضخة ضغطاً انقباضياً P=119.63 mm Hg عند مُعدَّل تدفق حجمي Q=12.5 L/hour واستهلاك طاقة مقداره 19.72 W، وبالتالي فإنَّ المضخة الطاردة المركزية كانت الأقل تأثراً بتغير لزوجة المائع العامل ضمن الدارة، والأقل استهلاكاً للطاقة للحفاظ على قيم ضغطٍ ثابتة.

الكلمات المفتاحية: المضخة المسننة الخارجيَّة، مضخة الطرد المركزيَّة، لزوجة ديناميكية، مائع لانيوتني، التركيز.

* **أستاذ، قسم هندسة القوى الميكانيكية، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.**

** **مدرس، كلية الهندسة الطبية، جامعة الأندلس الخاصة للعلوم الطبية، طرطوس، سورية.**

*** **طالب دراسات عليا (ماجستير)، قسم هندسة القوى الميكانيكية ، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.** alaarahal@yahoo.com

مقدمة:

تمَّ في هذا البحث دراسة عمل المضخات مع موائع نيوتونية وغير نيوتونية، حيث كان للزوجة الموائع دور هاماً في عمل هذه المضخات، ونتيجةً لحركة المائع تنشأ إجهادات قصٍ τ تعتمد قيمتها على لزوجته.

يحصل تشوَّهُ للمائع بفعلِ إجهادِ القصِّ وتتغيَّرُ اللزوجة كتابعٍ لمُعدَّل القص ويُعد الدم مثالاً هاماً على الموائع غير النيوتونيَّة وفي بعض الحالات الخاصَّة يسلك الدم سلوك مائعٍ نيوتوني [1]، تُعتبَر المضخاتُ على اختلافِ أنواعِها من أهم الآلات المستخدمة لضخِّ الموائع، فهي تحتلُّ المرتبةَ الثانيةَ كأكثر الآلات انتشاراً بعد المحركِ الكهربائي، والأكثر تأثراً بالتغيُّرات التي تحدث للمائع من اللزوجةٍ والكثافةٍ وتركيز الشَّوائب ضمن المحلول ..إلخ [2]، تُستّخدمُ المضخاتُ على نطاقٍ واسعٍ في مختلفِ مجالاتِ الحياة المعاصرة [3].

تُعتَبر عملية ضخِّ الموائع اللزجة من التطبيقاتِ الهامَّة كضخِّ المنتجات البتروليَّة وزيوتِ التزييت لجميعِ التَّطبيقاتِ الصِّناعيَّة، حيث يختلف أداء المضخات باختلاف لزوجة المائع [4].

أنواع المضخات وتأثير اللزوجة على منحني أدائها:

تُقسم المضخات بشكلٍ عام إلى نوعين رئيسيين:

1. المضخات الديناميكيَّة (Dynamic Pumps): وهي المضخات الأكثر شيوعاً، ويمكن استخدامها في معظمِ السَّوائل [2]، تعتمدُ في عملِها على نظرياتِ ميكانيكِ الموائعِ ومن أهمِّ أنواعها مضخات الطردِ المركزية [3].
2. المضخات الموجبة الإزاحة (Positive Pumps): تعمل على زيادةُ طاقةِ السَّائلِ عن طريقِ تغييرِ حجمِ الإزاحةِ [1]، وتُعطي معدَّلَ تدفُّقٍ ثابتٍ عندَ سرعةِ دورانٍ ثابتةٍ [5]، من أهمِّ أنواعِها: المضخات المسنَّنة والمكبسيَّة والغشائيَّة، وتتميَّزُ عن مضخاتِ الضغط الديناميكيّ بإعطائها ضغوطاً مرتفعة، وبمعدَّلات تَدفق أقلُّ بكثيرٍ من مضخات الضغط الديناميكي وبإمكانها ضخُّ السَّوائل شديدة اللزوجة [6]، يستخدم هذا النوع في:
   1. ضخ الموائع اللزجة كالنفط ومشتقاته.
   2. معدَّلات التَّدفق المنخفضة ذوات الضغوط المرتفعة كعمليات القطع.
   3. التدفقات اللحظية المنخفضة كمجالات الهندسة الطبيَّة، والهندسة الحيويَّة كأجهزةِ مراقبةِ ضغطِ الدم، ومضخات القلب الصّناعيَّة [7].

تؤثِّرُ خصائصُ السَّوائل كاللزوجة والكثافة بشكلٍ كبيرٍ على الأداء الهيدروليكيّ للمضخات بكافةِ أنواعها، ويختلف مقدار التأثر من نوعٍ لآخر من المضخات [3]. توجد العديد من الدّراسات التي تبحثُ أداء المضخَّة تبعاً لتغيُّر لزوجةِ المائع.

على سبيلِ المثالِ، في عام 2008 قام الباحثون: جينج زانغ، مينجيان زانغ، وانينغ يان من جامعة العلوم التكنولوجية في الصين بنشرِ نتائجِ تجاربهم لدراسةِ تأثيرِ الموائعِ غير النيوتونية على أداءِ المضخاتِ الطَّاردةِ المركزيةِ باستخدامِ دارةٍ مُغلقةٍ تتألف من مضخةِ طاردةٍ مركزيَّة تتراوح سرعة دورانها ضمن المجال rpm (800-100) وخزانٍ للمائع ومقياسُ تدفقٍ كهرومغناطيسيٍّ وصمامي خنق ومقياسُ ضغطٍ تفاضليٍّ ضمن المجال mm Hg (250-0)، أمَّا الموائع المستخدمة ضمن الدَّارة فهي الماء، ومحلول صمغ الزانثان المائي (aqueous xanthan gum Solutions) بتراكيز مختلفة. ونتيجة التجارب تبين أنه عندما تُستخدم هذه المضخات لضخِّ موائع ذات لزوجةٍ أكبر من لزوجة الماء، فإنَّ الضياعات داخل المضخة تزداد مما يؤدي لانخفاض أداء المضخة [8].

قام الباحثان أندريا فاكا، فنو ريتشوال في عام 2017 بإجراءِ دراسةٍ عدديَّة وتجريبيَّة لعمل المضخات المسننة الخارجيَّة مع موائع غير نيوتونية باستخدامِ ثلاثةِ موائعَ مختلفةِ اللزوجةِ وتتراوحُ لزوجتُها ضمنَ المجال Pa.s [100-5] دون

تحديد طبيعةِ السَّوائل بحسب اتفاقِ الخصوصيَّةِ بينَ الباحثَين والمصنعِ المُورِّد للموائع لذلك تمَّتِ الإشارةُ لهذهِ الموائع كما يلي: المائع A ذو اللزوجةِ الأكبر، المائع B، المائع C ذو اللزوجةِ الأدنى، وتوصل الباحثون من خلال تجاربهم على المائعين A,B إلى أنَّ المردودَ الحجميَّ لعمليةِ المحاكاةِ والتَّجارب كان مرتفعاً، لذلك قرَّر الباحثان استخدامَ المائع C في إجراءِ التَّجارب لكونه المائع الأقلَّ لزوجةً، بهدف تقليل المردودِ الحجميِّ (volumetric efficiency)، حيث انخفض المردود الحجميُّ من 90% عندَ الضغوطِ المنخفضةِ إلى 40% عندَ الضغوط المرتفعةِ [9].

أهمية البحث وأهدافه:

هدف البحث:

تهدف هذه الورقة العلمية إلى تصميم ودراسة نموذجٍ ميكانيكيّ يشرح آلية عمل جهاز الدوران في جسم الإنسان، واستخدام هذا النموذج لدراسة تأثير تغيُّرِ لزوجة المائع على أداء كل من المضخة الطاردة المركزية والمضخة المسننة الخارجية ومقارنة النتائج لكلتا المضختين من خلال:

- ❖ تصميم نموذج يشرح المكونات الرئيسية لجهاز الدوران في جسم الإنسان، وآلية عمله.
- ❖ استبدال القلب كمكونٍ هام من مكونات جهاز الدوران، بنوعين مختلفين من المضخات لإتاحة المجال لمقارنة أداء هذين النوعين عند تغير لزوجة المائع، ودراسةِ أداءِ كل نوعٍ بشكلٍ مستقل.

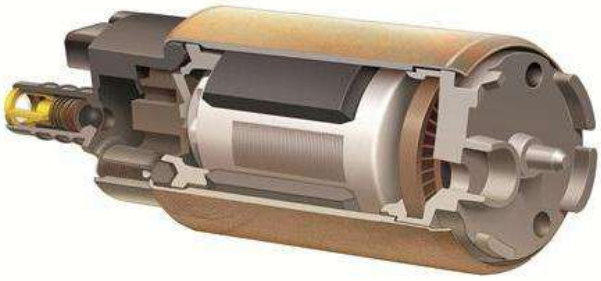
المواد المستخدمة materials:

أولاً: أجزاء الدارة التجريبية:

1. مجسم لجسم الإنسان كما في الشكل (1)، حيث تمَّ استبدال كل مكوِّنٍ من مكونات جهاز الدوران فيه، وفق ما يلي:

الشكل(1): مسقط أمامي للدارة التجريبية للدورة الدموية في جسم الإنسان

- ❖ القلب: تم اعتماد عمل القلب كمضخةٍ خلال مرحلتي الانقباض والانبساط، وتم استبدالها خلال البحث بخمسةِ مضخاتٍ 12 VDC موزَّعة كما يلي:
- ❖ مرحلة الانقباض: استبدل البطين الأيسر بمضخةٍ طاردةٍ مركزيَّةٍ سرعة دورانها 8700 rpmموضَّحة بالشكل (2) تقوم بضخ المائع الممثِّل للدم القانئ باتجاه خزاني الرأس والأطراف العلوية، والأحشاء والأطراف السُّفليَّة، أمَّا البطين الأيمن فتمَّ استبداله بمضخةٍ مسنَّنةٍ خارجيَّةٍ الشكل (3) يمتلك كل من المسنن القائد والمقود فيها 10 أسنان تقوم بضخِّ المائعِ الممثل للدم القاتم باتجاه خزان الرئتين.



الشكل(2): المضخة الطاردة المركزية المستخدمة في تصميم الجهاز

❖ مرحلة الانبساط: تم استبدال البطين الأيسر بمضخةٍ مسننةٍ خارجيةٍ تقوم بضخ المائع من خزانِ الرئتين إلى خزان البطين الأيسر، أما البطين الأيمن فتم استبداله بمضختين مسنَّنتين خارجيتين وظيفتهما إعادة الدم القاتم من خزان الرأس والأطراف العلوية، ومن خزان الأحشاء باتجاه خزان البطين الأيمن.

الشكل(3): المضخة المسننة الخارجية المستخدمة ضمن الجهاز

❖ استبدل أذينا البطينين بخزانين تبلغ السعة التقريبية لكلٍ منهما 850 mL.

❖ استبدلت الأوعية الدموية بأنابيب قطرها الداخلي D_{in}=8.25 mm.

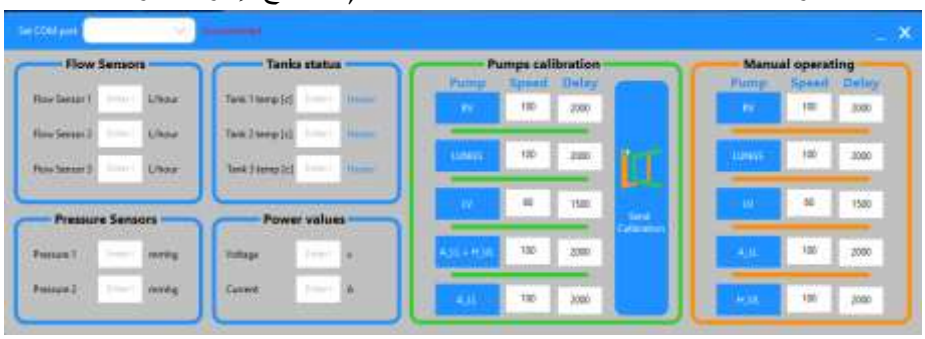
❖ ثلاثة خزانات بسعات متساوية تبلغ 850 mL للخزان الواحد، تستخدم لتخزين موائع الأطراف العلوية والسفلية والرئتين.

2. دارة القيادة والتحكم بعمل الجهاز: تتكوَّن من دارة تغذية بالتيار الكهربائي المستمر، ودارة تحكُّم تتكون من لوحة أردوينو ميغا تسمح بالتحكُّم في ترتيب وزمن عمل كل مضخةٍ من المضخات الخمس، وتساعد بقراءة قيم الضغط ومُعدَّل التدفق والتحكم الآلي بدرجة حرارة الموائع لضمان التَّسخين حتى الدرجة 37° C، وهي درجة حرارة جسم الإنسان الطبيعي الشكل (4).

الشكل(4): دارة التغذية والتحكم بعمل الجهاز

ألحق بدارة القيادة والتحكم واجهة برمجية كما في الشكل (5) تسمح بالقيام بالإجراءات التالية:

- ❖ إظهار بارامترات العمل التالية لكل مضخة: الضغط، معدل التدفق، درجة حرارة كل خزان، الجهد المطبق على كل مضخة، وكميه التيار المستجر من المضخة.
- ❖ إمكانية تعديل زمن عمل كل مضخة وسرعة دورانها وإرسالها إلى لوحة الأردوينو.
- ❖ إمكانية تعديل زمن عمل كل مضخة وتشغيلها بشكل مستقل (ما يسمح بإجراء تجارب متعددة لكل مضخة).



الشكل(5): الواجهة البرمجية الخاصة بعمل الجهاز، وقراءة بارامترات المضخات

3. مقياسي ضغط الكترونيين نوع SKY بدقة قياس ±1.5% ، لقياس الضغط ضمن المجال Kpa [0-206.84].
4. ثلاثة مقاييس للتدفق من نوع YF-21، تقيس التدفق ضمن المجال L/min [1-120].
5. مائع مكون من مزيج (غليسيرين–ماء) ذو لزوجة مشابهة للزوجة دم الإنسان.
6. ثلاثة سخانات تتوضع في خزاني الأذينين والرئتين، مهمتها تسخين المائع ضمن الخزانات حتى درجة الحرارة 37° C (درجة حرارة جسم الإنسان الطبيعي).
7. ثلاثة مقاييس لدرجة الحرارة نوع MAX6675 Module K type، تقيس درجة الحرارة ضمن المجال(-20,85)° C لمراقبة درجة حرارة المائع في خزانات الأذينين والرئتين.
8. تمَّ تركيب صمامي عدم رجوع الأول"3/4 ، والثاني "1/2على خطِّ الطرد للمضخة الطاردة المركزية (مضخة البطين الأيسر) ، وتم تركيب صمام عدم رجوع "1/2 على خط الطرد لكل من مضخة البطين الأيمن ومضخة الرئتين.

ثانياً: تحضير مزيج (غليسيرين–ماء) ذو اللزوجة المشابهة للزوجة الدم:

إنَّ الخصائصَ التي يتمتَّعُ بها الدم كسرعةِ التجلُّط وتعدُّدِ مكوناتِه، تحول دونَ استخدامه كمائعٍ لاختبار أداء المضخات، لذلك عادةً ما يتمُّ استخدامُ موائع بديلةٍ، معظمُ الباحثين يستخدمون السَّوائل النيوتونيةِ كالماء، أو مزيج من الماء والغليسيرين (glycerol-water)، أو محلول كاربوكسي ميثيل سيللوز المائي أو محلول بولي أكريلاميد المائي (Polyacrylamide solution) [8].

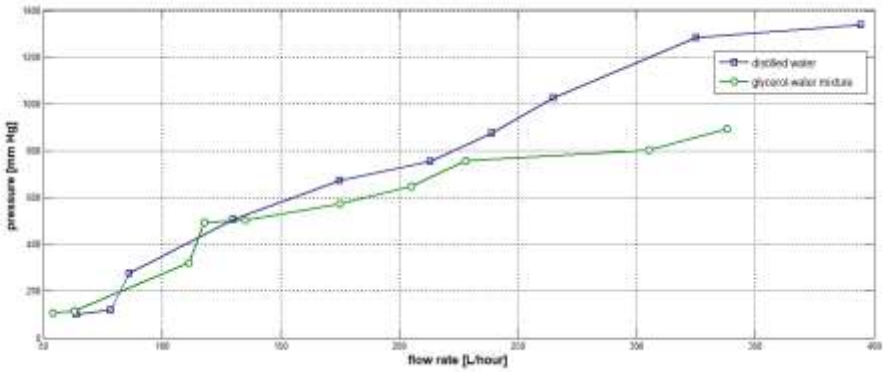
تمَّ في هذا البحث استخدام مزيج (غليسيرين–ماء) كمحلولٍ ذو لزوجة مشابهة للزوجة دم الإنسان التي تتراوح ضمن المجال $N.s/m^2$ (0.003-0.006) حيث تبلغ القيمة النموذجية للزوجة $N.s/m^2$ 0.0035 عند درجة حرارة الجسم الطبيعية [1].

تمَّ حساب اللزوجة الديناميكية نظرياً باستخدام برنامج Wolfram Mathematica 9 بالاعتماد على صيغةٍ تجريبية لحسابِ اللزوجة الديناميكية لمزيجِ (غليسيرين–ماء) (glycerol-Water mixture) عند تراكيز كتلية مختلفة (Mass Concentrations) تتراوح ضمن المجال Cm= (0-100)% ودرجاتِ حرارةٍ تتراوح ضمن المجال T=(0-100) °C [10,11]، وتمَّ ضمن مخابر الكلية التطبيقية وجامعة الشام الخاصة إعداد مزيج (غليسيرين –ماء) للحصول على مزيج تبلغ لزوجته $\mu=0.003517\ N.s/m^2$ عند درجة حرارة T=37 ºC.

النتائج والمناقشة:

❖ **اختبار المضخة الممثلة للبطين الأيسر(Lv pump) :**

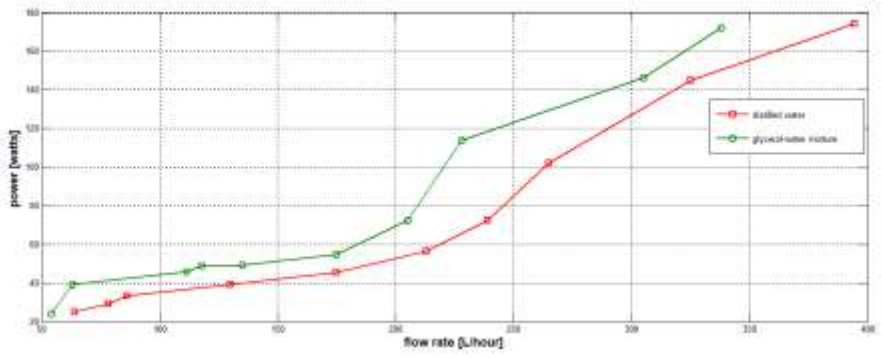
تم استبدال البطين الأيسر بمضخة طاردة مركزية سرعة دورانها 8700 rpm عند تطبيق جهد مستمر 12 V، وإجراء التجارب باستخدام الماء المقطر أولاً ثم باستخدام مزيج (غليسيرين–ماء) ذو لزوجة $\mu=0.003517\ N.s/m^2$، وتمَّ خلال التجارب تغيير سرعة دوران المضخة بتغيير قيمة الجهد المطبق عليها، ونتيجة التجارب تم الحصول على النتائج الموضحة بالشكل (6) الذي يمثل منحني تغير التدفق –الضغط، لكل سرعة دوران للمضخة.



الشكل(6): منحني التدفق–الضغط لمضخة البطين الأيسر كتابع لسرعة دوران المضخة

كما تمَّ الحصول على منحني التدفق–الطاقة المبين بالشكل (7) الخاص بمضخة البطين الأيسر كتابع لسرعة دوران المضخة.

يتبين من الشكلين (6) و(7) أن المضخة أعطت ضغطاً انقباضياً P=118.72 mm Hg عند معدل تدفقٍ Q=78.3 L/hour باستهلاك طاقة 29.15 W وذلك باستخدام الماء المقطر، وعند استبدال الماء المقطر بمزيج (غليسيرين–ماء) فإن المضخة أعطت ضغطاً انقباضياً P=116 mm Hg عند معدل تدفق Q=63 L/hour واستهلاك طاقة 39.28 W، وبالتالي فإن المضخة الممثلة للبطين الأيسر أعطت الضغط المطلوب مع زيادة استهلاك للطاقة بنسبة تبلغ 34.71%.

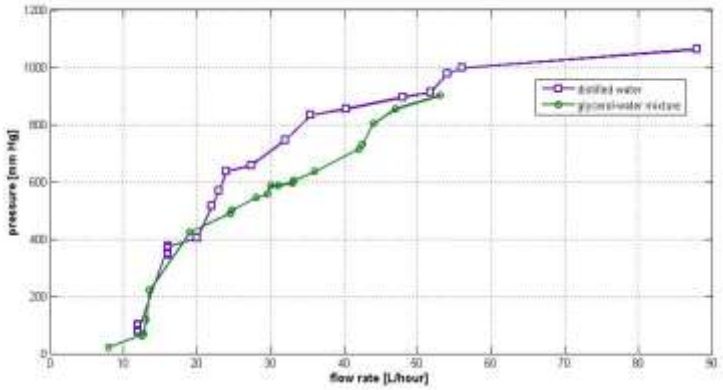


الشكل(7): منحني التدفق–الطاقة لمضخة البطين الأيسر كتابع لسرعة دوران المضخة

❖ **اختبار المضخة الممثلة للبطين الأيمن (RV pump):**

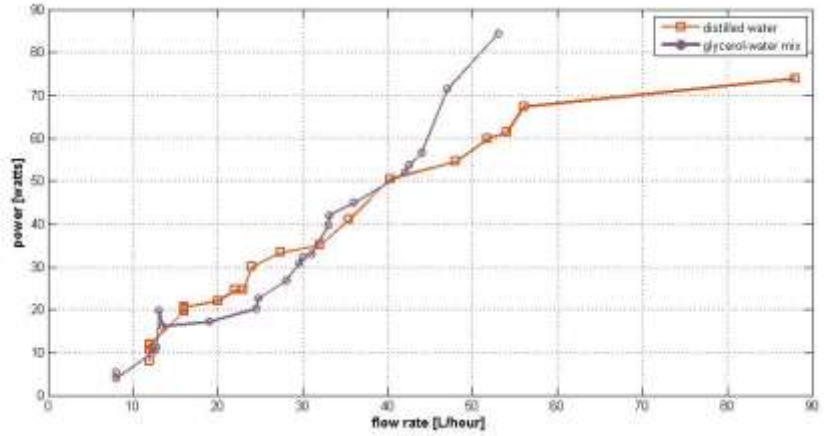
تم استبدال عمل البطين الأيمن بمضخة مسننة خارجية يمتلك كل من المسنن القائد والمقود فيها 10 أسنان، وإجراء التجارب باستخدام الماء المقطر أولاً ثم باستخدام مزيج (غليسيرين–ماء)، وتمَّ خلال التجارب تغيير سرعة دوران

المضخة بتغيير قيمة الجهد المطبق عليها وتسجيل بارامترات عمل المضخة من ضغط ومعدل تدفق واستهلاك طاقة كتابع لسرعة دوران المضخة، وتم الحصول على الشكل (8) الذي يوضح تغير التدفق–الضغط كتابع لسرعة دوران المضخة.



الشكل(8): منحني التدفق–الضغط لمضخة البطين الأيمن كتابع لسرعة الدوران

تم من خلال التجارب إنشاء منحني التدفق–الطاقة المبين بالشكل (9) الخاص بمضخة البطين الأيمن عند سرعات دوران مختلفة للمضخة.

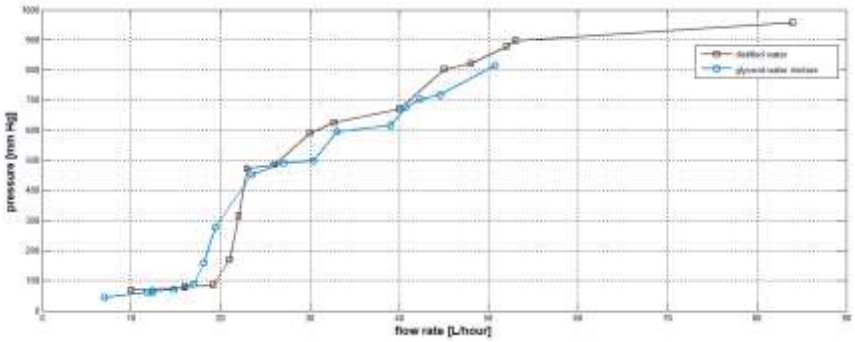


الشكل(9): منحني التدفق–الطاقة لمضخة البطين الأيمن عند سرعة دوران مختلفة

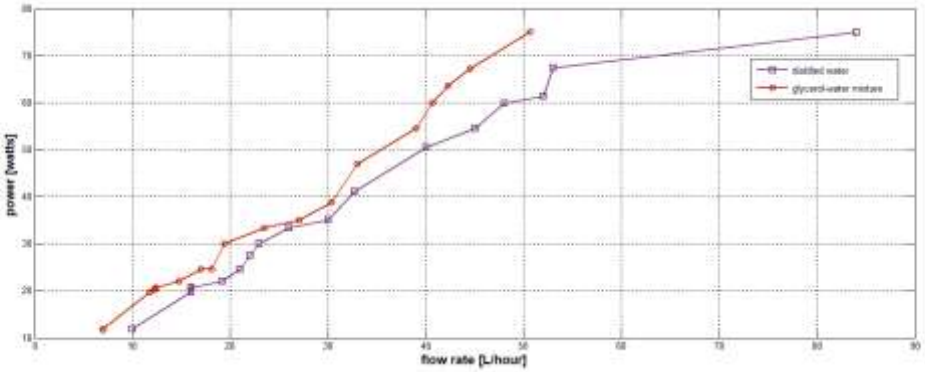
يتبين من الشكلين (8)،(9) أن المضخة أعطت ضغطاً انقباضياً P=102.74 mm Hg عند معدل تدفقٍ Q=15 L/hour باستهلاك طاقة 10.62 W عند تجريب الجهاز باستخدام الماء المقطر، وعند استبدال الماء المقطر بمزيج (غليسيرين–ماء) فإن المضخة أعطت ضغطاً انقباضياً يبلغ P=119.63 mm Hg عند معدل تدفق حجمي Q=12.5 L/hour واستهلاك طاقة 19.72 W، وبالتالي فإن المضخة الممثلة للبطين الأيمن قد أعطت الضغط المطلوب مع زيادة استهلاك للطاقة بنسبة تبلغ 85.56 %.

❖ **اختبار المضخة الممثلة للرئتين (Lungs pump)**: تم استبدال الرئتين بمضخة مسننة خارجية يمتلك كل من المسنن القائد والمقود فيها 10 أسنان، تم إجراء التجارب باستخدام الماء المقطر أولاً ثم باستخدام مزيج (غليسيرين–ماء)، وتمَّ خلال التجارب تغيير سرعة دوران المضخة بتغيير قيمة الجهد المطبق عليها وتسجيل بارامترات عمل المضخة من ضغط ومعدل وتدفق واستهلاك طاقة عند كل سرعة دوران.

بالاعتماد على النتائج التجريبية لمضخة الرئتين، تمَّ إنشاء منحني التدفق–الضغط المبين بالشكل (10)، ومنحني التدفق–الطاقة المبين بالشكل (11) كتابع لسرعة دوران المضخة، حيث نجد أن المضخة أعطت ضغطاً انبساطياً P=82 mm Hg عند معدل تدفقٍ Q=19.2 L/hour باستهلاك طاقة 18.31 W وذلك عند تجريب الجهاز باستخدام الماء المقطر، وعند استبدال الماء المقطر بمزيج (غليسيرين–ماء) فإنَّ المضخة أعطت ضغطاً انبساطيا P=85 mm Hg عند معدل تدفق Q=17 L/hour واستهلاك طاقة 25.57 W، وبالتالي فإن المضخة الممثلة للرئتين أعطت الضغط المطلوب مع زيادة استهلاك للطاقة بنسبة تبلغ% 39.66 .



الشكل(10): منحني التدفق–الضغط لمضخة الرئتين كتابع لسرعة الدوران



الشكل (11): منحني التدفق–الطاقة لمضخة الرئتين كتابع لسرعة الدوران

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

من خلال الدراسة تمَّ الخلوص إلى الاستنتاجات التالية:

1. عند تجريب المضخة الممثلة للبطين الأيسر وهي مضخة طاردة مركزية على الماء المقطر والسائل اللزج الذي يمتلك لزوجة مساوية للزوجة الدم، تبين أن استهلاك المضخة للطاقة يزداد بمقدار % 34.71 عند ارتفاع الضغط نفسه كما انخفض معدل التدفق بمقدار % 19.54.
2. عند تجريب المضخة الممثلة للبطين الأيمن وهي مضخة مسننة خارجية على الماء المقطر والسائل الذي يمتلك لزوجة الدم تبين أن استهلاك الطاقة ازداد بمقدار% 85.56 كما أن معدل التدفق انخفض بمقدار% 16.66.
3. عند تجريب المضخة الممثلة للرئتين وهي مضخة مسننة خارجية على الماء المقطر والسائل الذي يمتلك لزوجة الدم تبين أن استهلاك الطاقة ازداد بمقدار% 39.66 كما أن معدل التدفق انخفض بمقدار% 11.46.

4. تبين أن المضخة الطاردة المركزية هي الأقل استهلاكاً للطاقة، وبالتالي الأقل تأثراً بتغير لزوجة المائع عند مقطع ثابتٍ للأنابيب D_{in}=8.25 mm وقيم ضغط ثابتة.

التوصيات:

استناداً إلى نتائج البحث، ينصح بما يلي:

1. عدم استخدام أنابيب ذات أقطار صغيرة في حالة المضخات المسننة الخارجية لضخ الموائع اللزجة، والعمل قدر الإمكان على تكبير قطر الأنابيب وخاصة أنابيب خط الطرد.
2. إجراء التجارب على أداء المضخات رقمياً باستخدام ديناميكا الموائع الحسابية CFD نظراً لما يواجهه استخدام الطرق التجريبية من مشاكل، بالإضافة للكلفة المادية المرتفعة عند القيام بالدراسة التجريبية.
3. التوسع بإجراء التجارب على أداء الأنواع الأخرى من المضخات، باستبدال المضخات بأنواع أخرى كالمضخة الغشائية، أو المضخة المسننة الداخلية مثلاً.

References:

1- MAHMOUD, H. biofluid mechanics, Al Andalus University for medical sciences, SYRIA , 2016, 195.

2- SELLGREN, A. ADDIE, G. pumps technology , Vol. 20, Springer, Germany, 2010, 249.

3- RAGUNATHAN,C.MANOHARAN,T.*Dynamic Analysis of Hydrodynamic Gear Pump Performance Using Design of Experiments and Operational Parameters*, IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering. Vol 7.17,2012,23.

4- YOUCEFI, S. YOUCEFI,A. *EFFETS DE LA VISCOSITE SUR LES PERFORMANCES HYDRAULIQUES D'UNE POMPE CENTRIFUGE*, 12ème Congrès de Mécanique.Maroc.2015.

5- NEMDILI, A. LADOUANI, A. *Application of empirical methods to reduce the performance of centrifugal pump for high viscous fluids from those of water*, journal of Xi' AN jiaotong university, China, vol (41),2013 , 1092-1095.

6- EGBE, A. *Design Analysis and Testing of a Gear Pump*, International Journal Of Engineering And Science, Vol (3), 2013, 1-7.

7- NATH,A.G. KRISHNAN E,S. CHERIYAN,S. PS,V. *Design and manufacture of miniature hydraulic gear pump for Bio-medical Application*, science direct, USA, vol (5), 2018, 25570-25580.

8- ZHANG, G. Zhang,M. Yang,W. Zhu,X. Hu,Q. *Effects of non-Newtonian fluid on centrifugal blood pump performance*, science direct- International Communications in Heat and Mass Transfer, USA, 2008, Vol (35), 613-617.

9- RITURAJ, F. VACCA, A. *External Gear pumps operating with non-Newtonian fluids: Modeling and experimental validation*, Science Direct Mechanical Systems and Signal Processing, USA, Vol (106), 2018, 284-302.

10- SHENG CHENG, N. *Formula for the viscosity of a glycerol-water mixture*, Engineering Chemistry Research, China, Vol (47), 2008, 3285-3288.

11- MICHAL, S. HANA, N. JAN, K. *the determination of viscosity at liquid mixture-comparison of approaches*, department of fluid mechanics and thermodynamics, China, Vol (1889), 2017, 1-5.