

TJES

ISSN: 1813-162X

مجلة تكريت للعلوم الهندسية

<http://www.tj-es.com> متاحة على الموقع الإلكتروني

## تأثير الفعل الهيدروديناميكي في المضخة التمجعية بجهاز غازات الدم ABL 555

علي خالد محمد علي

قسم الهندسة الميكانيكية، كلية الهندسة، جامعة تكريت، صلاح الدين، العراق

[eng\\_ali\\_khalid@tu.edu.iq](mailto:eng_ali_khalid@tu.edu.iq)[eng\\_ali\\_1977@yahoo.com](mailto:eng_ali_1977@yahoo.com)

(Received 09 October 2016, Accepted 22 March 2017, Available online 30 June 2017)

### الخلاصة

تم في هذا البحث دراسة تأثير الفعل الهيدروديناميكي لمضخة سحب وضخ السوائل التمجعية (Peristaltic pump)، والتي تقوم بوظيفة سحب الدم ونقله الى منظومة قياس غازات الدم في جهاز ABL 555 المنتج من قبل شركة (Radiometer-Copenhagen)، ومن خلال نظريات علم الترابولوجي وتطبيق معادلة رينولد على حركة السوائل في السطوح المقترية، تم تمثيل وإيجاد الموديل الرياضي لحركة المضخة التمجعية (والتي تتكون من محرك خطوة كهربائي وأربع متدحرجات مرتبطة به عن طريق قرص دوار موزعة على أرباع القرص) حول الأنبوب المطاطي الشعري (capillary tube)، كذلك تم معاملة منطقة التلامس (التي تم تقسيمها الى شبكة مكونة من خطوط محيطية ومحورية) بين المتدحرجات والأنبوب المطاطي على أنها سطوح مقترية (Convergence surfaces)، تم بعدها إيجاد معادلة سمك شريحة الدم ومشتقتها في منطقة التلامس، وذلك لغرض إيجاد حل عددي لمعادلة رينولد التفاضلية التي تم تطبيقها وذلك باستخدام طريقة الفروقات المحددة (finite differences) ذات الخمس عقد، لإيجاد الضغط المتولد في منطقة التلامس باستخدام برنامج (MATLAB R 2012b). من النتائج التي تم أيجادها تأثير تغير لزوجة الدم على مقدار الضغط المتولد عند درجة حرارة محيطية ثابتة وسرعة ثابتة للمحرك، وإيجاد مقدار تدفق الدم في الأنبوب. من الاستنتاجات المهمة التي تم التوصل اليها هي أن الضغط المتولد من دوران الموتور بحركته الانزلاقية حول الأنبوب المطاطي يؤدي الى توليد ضغط منخفض (إيجابي)، بينما الضغط المتولد من الحركة التدرجية العكسية للمتدحرجات الأسطوانية هي التي تولد الضغط الكبير (السلبي) المطلوب لدفع الدم الى منظومة القياس، ولهذا فإن اتجاه ضخ الدم يكون بعكس اتجاه دوران الموتور والمضخة التمجعية، وبنفس اتجاه دوران المتدحرجات، وهي حالة تشبه حالة التعشيق بين مسننين، كذلك تم استنتاج أن لزوجة الدم تلعب دوراً مهماً في سرعة جريانه وبالتالي في مقدار سرعة دوران المحرك والمحمل، كما أن مقدار سمك شريحة الدم تؤثر في مقدار الضغط الكلي في داخل الأنبوب المطاطي.

**الكلمات الدالة:** أجهزة قياس غازات الدم، الهيدروديناميك، المضخة التمجعية، معادلة رينولد، السطوح المقترية، لزوجة الدم، المحامل الأسطوانية المتدحرجة، سمك شريحة الدم.

## Effect of hydrodynamic action in peristaltic pump of blood gases analyzer ABL 555

### Abstract

In this research, we studied the effect of hydrodynamic action in peristaltic pump of blood gases analyzer ABL 555 which made by (Radiometer-Copenhagen), by using theories of tribology and Reynolds equation on performance of blood film convergence area, we analyzing the influence of theoretical model for peristaltic pump (consist of stepper motor and 4 cylindrical bearings distributed on circular disc) rotating around capillary tube, by using (MATLAB R 2012b) programing with numerical solution of finite difference method in 5 nodes element, we fined the blood film thickness and the pressure on contact area grid (consist from annular and axial lines), then influence of viscosity of blood on pressure generated in limited temperature of ambient and velocity of motor, and flow rate of blood in tube.

The important conclusions appear that the rotating sliding movement of motor cause low pressure (positive) while the rolling cylindrical rollers of bearings cause high pressure (negative) which lead to push the blood in tube, that mean the direction of rotating blood opposite the

direction of rotating motor of peristaltic pump, also the viscosity of blood effect on velocity of flow and the speed of motor with bearings, and the effect of blood film thickness effect on pressure generated in tube.

**Keywords:** Blood gases analyzer, Hydrodynamic, Peristaltic pump, Reynolds equation, Convergence area, Viscosity of blood, Cylindrical roller bearings, Blood film thickness.

الكشف عن نسب ضغط غازات الدم مثل الأوكسجين  $pO_2$  ونسبة ضغط غاز الهيدروجين أو ما تسمى حموضة الدم pH وضغط غاز ثاني أوكسيد الكربون  $pCO_2$  والغازات والمواد المخدرة مثل النتروجين N أو الصوديوم Na أو المواد والغازات السمية مثل ضغط غاز أول أوكسيد الكربون  $pCO$  والكوراييد Cl، أو المواد والعناصر الذائبة والمتحللة في الدم أو مصله، مثل الكالسيوم Ca والصوديوم Na والبوتاسيوم K.

يمثل جهاز غازات الدم (ABL 555) الموضح في الشكل رقم (1) [1]، أحد الأجهزة المستخدمة بكثرة في مراكز جراحة القلب التخصصية بالعديد من الدول ومنها العراق، وهو منتج من قبل شركة راديوميتر الدنماركية (Radiometer –Copenhagen).



شكل (1) جهاز غازات الدم ABL555 ومنظومة القياس

وتعد دراسة الظروف الترابولوجية (Traibological Conditions) للسطوح المقترية في كراسي التحميل الأسطوانية (Cylindrical bearings) الأربعة الموجودة ضمن منظومة السحب والضخ التوجيهية (peristaltic pump) والتي تضم كذلك محرك كهربائي يقوم بتدوير قرص دائري بحركة انزلاقية، والذي ترتبط به كراسي التحميل الأسطوانية مما يؤدي الى دورانها ودحرجتها بالاتجاه المعاكس لدوران قرص الموتور، وذلك نتيجة ملائمة الأنبوب الشعري المطاطي الموجود حول القرص الدوار، مما يؤدي الى توليد ضغط تذبذبي موجي هيدروديناميكي يعمل على سحب وضخ الدم أو مصله أو باقي سوائل الجهاز داخل الأنبوب، وهي عملية تشبه الى حد ما عملية حلب الأبقار لإخراج الحليب من ضرعها.

يتم دفع الدم أو مصله عن طريق المضخة التوجيهية (Peristaltic pump) الى منظومة القياس والمتحسسات ذات الأقطاب (Electrodes) المرتبطة بها ومن ثم الى علبة التفريغ (Waste container) كما موضح في المخطط التفصيلي لمنظومة القياس المبين في الشكل رقم (2) [2].

#### الرموز المستخدمة

R	نصف قطر المتدحرجات	mm
R	نصف القطر الخارجي لقرص الموتور	mm
	بدون المتدحرجات	
$R_c$	البعد من مركز الموتور الى مركز المتدحرج	mm
$B_1-B_5$	عوامل	—
$C_1-C_5$	عوامل	—
$i, j$	عداد العناصر بالاتجاهين المحيطي والمحوري	—
	على التوالي	—
K	عداد التكرار	—
m	عدد العناصر في الاتجاه المحيطي	—
n	عداد العناصر في الاتجاه المحوري	—
a	مساحة العنصر الواحد في المخطط الشبكي	mm <sup>2</sup>
N	السرعة الدورانية للموتور	r.p.m.
U	السرعة الخطية للموتور	m/s
$P_{i,j}$	ضغط الزيت عند كل نقطة بالاتجاه المحيطي	Pas.
$P_{max}$	أكبر ضغط لشريحة الدم	Pas.
X	الإحداثي المحيطي للمتدحرج	mm
Z	الإحداثي المحوري للمتدحرج	mm
t	الزمن	sec
$A_1-A_6$	عوامل	—
L	عرض المسند	mm
h	سمك شريحة الزيت عند كل نقطة بالاتجاه المحيطي	mm
$h_{min}$	أقل سمك لشريحة الدم	mm
$d_t$	قطر الأنبوب المطاطي الشعري	mm
$\mu$	اللزوجة الديناميكية للدم	Pas. sec
$\alpha, \gamma$	الزاوية المركزية لمنطقة التقارب بين المتدحرج والأنبوب الشعري	Radian
$\theta, \beta$	الزاوية المحيطية لكل نقطة على سطح المتدحرج	Radian
$\phi$	الزاوية المقابلة للضلع القائم في المثلث المتساوي الساقين	Radian
$\Delta X$	طول العنصر في الاتجاه المحيطي (x)	mm
$\Delta Z$	طول العنصر في الاتجاه المحوري (z)	mm

#### المقدمة

تعد أجهزة فحوصات وتحاليل غازات الدم (Blood Gases Analyzers) من أهم الأجهزة المستخدمة في صالات العمليات الجراحية والطوارئ وصالات عمليات القلب المفتوح والقسطرة ووحدة العناية المركزة (I.C.U) (Intensive Care Unit) وصالات أنعاش القلب والإفاقة (Cardiac Care Unit) (C.C.U)، لما لها من دور مهم في

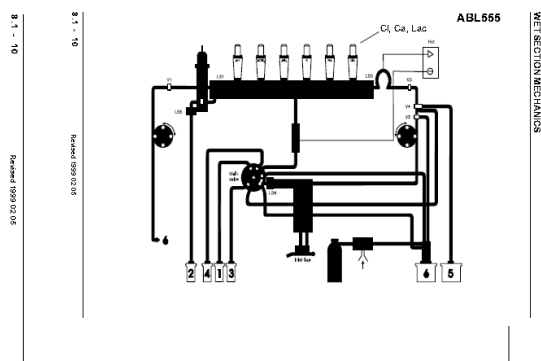
المضخة التمجعية (Peristaltic pump) حيث ينتج من دوران المضخة حركتين دورانتين لكل من قرص الموتور وكذلك المتدحرجات الأسطوانية الأربعة والتي تكون ملاصقة للأنبوب المطاطي والذي يحيط بالمضخة بشكل حرف U تقريباً حيث تكون كلتا نهايتي الأنبوب مثبتتين من الأعلى بواسطة حلقتين ماسكتين معدنيتين، أما الأنبوب المطاطي فيكون مقيد الحركة بين المتدحرجات والحلقة الخارجية المحيطة بالموتور، حيث تعمل المتدحرجات الأسطوانية الأربعة من خلال دورانها على سحب السوائل (الدم أو مصله أو سوائل تنظيف الجهاز) اعتماداً على العملية المطلوب تنفيذها من قبل الجهاز بطريقة مشابهة لعملية اخراج وسحب الحليب من ضرع البقرة (عملية الحلب اليدوية التناوبية) والتي تتم بتسليط الضغط عن طريق حصر الأنبوب في منطقة معينة بواسطة المتدحرج الأسطواني ومن خلال تدوير الموتور في اتجاه معاكس لاتجاه السحب.

سيتم في هذا البحث اشتقاق معادلات سمك شريحة الدم في المنطقة الملاصقة للمسدن المتدحرج في كلتا حالتيه (الحركة الدورانية والانزلاقية)، كذلك سوف يتم إيجاد المشتقة الأولى لمعادلة سمك شريحة الدم، والتي تدخل ضمن ضغط الدم المحصور بين المتدحرج والأنبوب المطاطي، وذلك عن طريق استخدام معادلة رينولدز والتي يتم حلها عددياً لحل المعادلات التفاضلية باستخدام طريقة الفروقات المحددة ذات المخطط الخماسي العقد والتي عن طريقها يتم إيجاد مقدار ضغط الدم في منطقة التماس بين المتدحرج والأنبوب باعتبارها سطوح مقتربة (Convergence layer surfaces) نتيجة وجود حركة نسبية بين المتدحرج الأسطواني والحلقة الخارجية لحامل المحرك والملاصقة للأنبوب المطاطي.

بمعاملة ضغط الدم المستخرج لكل نقطة من نقاط التماس بين المتدحرج الأسطواني والأنبوب المطاطي بالمساحة المؤثرة عن طريق تقسيم منطقة التماس الى شبكة من الخطوط الطولية والعرضية (Grid) بحيث تشكل شرائح مستطيلة صغيرة (مكونة من 50 خط محوري  $50 \times$  خط محيطي)، نحصل بعدها على القوة العمودية (شعاعية) على سطح الجزء المتحرك، بعدها يتم إيجاد محصلة القوى العمودية ومحصلة الضغط، والتي منها يتم إيجاد مقدار الضغط ومقدار تدفق الجريان (Q: flow rate). يتم بعدها رسم العلاقات المختلفة لتقييم أداء المضخة عند أعلى وأقل لزوجة لدم الإنسان عند درجة حرارة 37 درجة مئوية.

#### معادلات سمك شريحة

يتم تمثيل الحركة النسبية رياضياً بين المتدحرجات الأسطوانية والأنبوب المطاطي كسطوح مقتربة على أنها حركة دورانية ازدواجية (انزلاقية وتدحرجية). ولغرض تبسيط عملية تحليل الأداء الهيدروديناميكي للمضخة، يتم تجزئة الحركة الدورانية الى حركتين، انزلاقية لقرص الموتور الحامل للمتدحرجات الأربعة، وتدحرجية لحركة المتدحرج المماس للأنبوب المطاطي. ويتم إيجاد معادلات سمك شريحة الدم وفق الاتي :



شكل (2) منظومة القياس wet section- ABL555

تتكون مضخة سحب السوائل التمجعية (Peristaltic pump) الموضحة في المخطط التفصيلي للشكل رقم (2) من الأجزاء التالية حسب المواصفات المبينة في دليل صيانة الجهاز[2]:

- 2 موتور، محركي الخطوة stepping motor P1& P2, Code: 580-042 -
- حامل الموتور Pump Housing with Rotor , Code: 902-188
- أنابيب مطاطية tubing for pump, Code: 842-194 -
- مشق التروس للمحركين Gear box (27:1) for P1& P2 , Code: 902-018

وتتراوح قيم لزوجة الدم عند درجة حرارة 37 درجة مئوية بين  $10^{-3}$  (4-25) (باسكال.ثانية) تقريباً، اعتماداً على طريقة التخفيف (Hemodilute) وثوابت ومتغيرات متعددة منها درجة الحرارة [3]. ومما تجدر الإشارة إليه، أن لزوجة الدم تزداد من 50% الى 300% عند انخفاض درجة الحرارة من 37 درجة مئوية الى 22 درجة مئوية، أما عند إجراء عملية تخفيف (Hemodilute) للهيماوكريت من 35% الى 22.5% فإنها تؤدي الى تقليل لزوجة الدم الى ما نسبته 50% [4,5].

#### الفرضيات المستخدمة

- 1- يكون الدم بأنواعه سائل لا نيوتوني وفي هذا البحث تم فرض أنه سائل نيوتوني وذلك لغرض إيجاد حل للمعادلات، ولكون الجهاز يقوم ب تثبيت درجة حرارة الدم أثناء عملية القياس على 37 درجة مئوية وهي الدرجة المعادلة لدرجة حرارة الإنسان الطبيعي لذا فأننا سوف نعتمدها كدرجة ثابتة أثناء البحث.
- 2- اعتبار لزوجة الدم ثابتة عند درجة الحرارة.
- 3- إهمال سمك الأنبوب المطاطي والتشوه الحاصل فيه واعتبار شكل مقطع الأنبوب ثابت في منطقة الانضغاط.

#### الجانب النظري للبحث

يستند الجانب النظري للبحث على دراسة تأثير الفعل الهيدروديناميكي للحركة النسبية الناتجة من دوران





$$\left(h^3 \frac{\partial^2 P}{\partial x^2}\right) + \left(3h^2 \frac{\partial h}{\partial x} \frac{\partial P}{\partial x}\right) + \left(h^3 \frac{\partial^2 P}{\partial z^2}\right) + \left(3h^2 \frac{\partial h}{\partial z} \frac{\partial P}{\partial z}\right) = 6U\mu \frac{\partial h}{\partial x} \dots\dots\dots(22)$$

نفرض إن سمك شريحة الدم (h) ثابتاً بالاتجاه المحوري (z)، لكون الحلقة المحيطة بحامل الموتور والمتدحرجات (المحصور بينهما الدم (وهي منطقة البحث)) محاورهما متوازيين،

$$\frac{\partial h}{\partial z} = 0 \quad \text{أي أنه :}$$

وبتبسيط المعادلة (22) نحصل على المعادلة التالية:

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{3}{h} \frac{\partial h}{\partial x} \frac{\partial P}{\partial x} = \frac{6U\mu}{h^3} \frac{\partial h}{\partial x} \dots\dots\dots(23)$$

نفرض أن :

$$A_1 = \frac{3}{h} \frac{\partial h}{\partial x}, \quad A_2 = \frac{6U\mu}{h^3} \frac{\partial h}{\partial x}$$

وبتعبويض قيم (A<sub>1</sub>) و (A<sub>2</sub>) في المعادلة رقم (23) نحصل على :

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + A_1 \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial^2 P}{\partial z^2} = A_2 \dots\dots\dots(24)$$

باستخدام تقنية الفروقات المحددة فإن المشتقة الأولى والثانية للضغط بالاتجاه المحيطي (X) تساوي [7]:

$$\left(\frac{\partial P}{\partial x^2}\right)_{i,j} = \frac{P_{i+1,j} - P_{i-1,j}}{2(\Delta x)} \dots\dots\dots(25)$$

$$\left(\frac{\partial^2 P}{\partial x^2}\right)_{i,j} = \frac{P_{i+1,j} - 2P_{i,j} + P_{i-1,j}}{(\Delta x)^2} \dots\dots\dots(26)$$

$$\text{Where : } \Delta x = \frac{\alpha R}{(m-1)}$$

كذلك المشتقة الأولى والثانية للضغط بالاتجاه المحوري (Z) تساوي :

$$\left(\frac{\partial P}{\partial x^2}\right)_{i,j} = \frac{P_{i,j+1} - P_{i,j-1}}{2(\Delta x)} \dots\dots\dots(27)$$

$$\left(\frac{\partial^2 P}{\partial x^2}\right)_{i,j} = \frac{P_{i,j+1} - 2P_{i,j} + P_{i,j-1}}{(\Delta x)^2} \dots\dots\dots(28)$$

$$\text{Where : } \Delta z = \frac{L}{(n-1)}$$

نفرض أن :

$$A_3 = \frac{1}{2(\Delta x)}, \quad A_4 = \left(\frac{1}{\Delta x}\right)^2,$$

$$A_5 = \frac{1}{2(\Delta z)}, \quad A_6 = \left(\frac{1}{\Delta z}\right)^2$$

$$\cos(\alpha - \theta) = \cos\left(\alpha - \frac{x}{Ro}\right) = (h + N + M) / Ro \dots\dots\dots(15)$$

ويتم إيجاد سمك شريحة الدم كالتالي :

$$h = [(Ro - Rc) * \cos(\alpha - \theta)]$$

$$h = [Ro * \cos(\alpha - \theta)] - N - M \dots\dots\dots(16)$$

$$h = [Ro * \cos(\alpha - \theta)] - r *$$

$$\cos\left(\sin^{-1}\left(\frac{Rc * \sin(\alpha - \theta)}{r}\right)\right) - Rc * \cos(\alpha - \theta) \dots\dots\dots(17)$$

$$h = [(Ro - Rc) * \cos(\alpha - \theta)]$$

$$- r * \cos\left(\sin^{-1}\left(\frac{Rc * \sin(\alpha - \theta)}{r}\right)\right) \dots\dots\dots(18)$$

$$\frac{\partial h}{\partial x} = \left[\left(\frac{Ro-Rc}{Ro}\right) * \sin(\alpha - \theta)\right] + r * \cos\left(\frac{Rc}{r} \cos^{-1}\left(\frac{Rc * \cos(\alpha - \theta)}{Ro * r}\right)\right) \dots\dots\dots(19)$$

#### معادلة رينولد

عند وجود سطحين مقتربين متقابلين يتحركان باتجاه محدد وبينهما مائع معين، يتولد ضغط في هذا المائع المحصور بين السطحين نتيجة الحركة [6]، ولغرض حساب هذا الضغط تستخدم معادلة رينولد وكما يأتي :

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{h^3}{\mu} \frac{\partial P}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{h^3}{\mu} \frac{\partial P}{\partial z} \right) = 6U \frac{\partial h}{\partial x} + 12 \frac{\partial h}{\partial t} \dots\dots\dots(20)$$

بما أنه لا يوجد عصر في المحمل (no squeeze)،

$$\frac{\partial h}{\partial t} = 0 \quad \text{أي إنه :}$$

$$12 \frac{\partial h}{\partial t} = 0 \quad \text{وبالتالي :}$$

وعليه تصبح معادلة رينولد :

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{h^3}{\mu} \frac{\partial P}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{h^3}{\mu} \frac{\partial P}{\partial z} \right) = 6U \frac{\partial h}{\partial x} \dots\dots\dots(21)$$

نفرض أن لزوجة الدم ثابتة (isoviscous) وذلك لتسهيل الحل من جهة، ولقصر منطقة التقارب من جهة أخرى) وبتبسيط المعادلة السابقة نحصل على :

(18) و (19) للحالة الثانية، وباستخدام برنامج (MATLAB- R2012b) وبلاستفادة من الفرضيات والمعطيات نحصل على القيم النهائية لضغط الدم المحصور بين المتدحرجات و الحلقة المحيطة بحامل الموتور في الأنبوب المطاطي عند كل عقدة في المخطط الشبكي وعند السرعة المحددة للمحرك.

#### الشروط الحدودية

نفرض قيم ضغط الدم في المنطقة الحدودية لشريحة الدم قيد الدراسة مساوية للصفر وكما يأتي:

أ : بالاتجاه المحيطي (Annually) :

$$P = 0 \quad \text{at} \quad \begin{cases} X = 0 \\ X = \alpha R \end{cases} \quad \text{or} \quad \begin{cases} \theta = 0 \\ \theta = \alpha \end{cases}$$

ب: بالاتجاه المحوري (Axially) :

$$P = 0 \quad \text{at} \quad \begin{cases} Z = 0 \\ Z = L \end{cases}$$

$$\text{at } (Z = L/2) \longrightarrow (P = P_{\max}) \& \left( \frac{\partial P}{\partial Z} = 0 \right)$$

#### النتائج والمناقشة

تم في هذا الجزء من البحث عرض النتائج المستحصلة نظرياً من هذه الدراسة ومناقشتها ومقارنتها مع بعض النتائج العملية الخاصة بشركة راديوميتر الدنماركية، واختبار أداء المضخة التمجعية والمسدند تحت ظروف العمل المحددة في الدراسة. حيث تم دراسة سلوك الدم وتأثير ذلك في أداء المسند الأسطواناني المتدحرج وحلقة الموتور في كلتا الحالتين للحركتين الدورانية والانزلاقية، ومن هذه السمات : سمك طبقة الدم ، توزيع الضغط بالاتجاه المحيطي والمحوري للمتدحرج والموتور، موقع الضغط الأقصى (peak pressure) بالاتجاه المحيطي للمتدحرج.

من النتائج المستحصلة من الدراسة وجد أن أقصى قيمة للزاوية ( $\beta$ ) كانت 12.8396 درجة، أما الزاوية ( $\theta$ ) فكانت أقصى قيمة لها هي 60 درجة.

من النتائج التي تم الحصول عليها من برنامج البحث، عند لزوجة دم طبيعية وبدرجة حرارة 37 درجة مئوية بين (15-18\*10<sup>-3</sup> Pas.Sec) فإن تدفق الجريان كان يتراوح بين (55-70)  $\mu\text{L/sec}$  وهي نتائج تقترب من النتائج التصميمية والتي هي عند نفس اللزوجة والحرارة كانت سرعة الجريان التصميمية 60  $\mu\text{L/sec}$  بينما النتائج العملية كانت تتراوح بين (54-72)  $\mu\text{L/sec}$ ، أما عند لزوجة دم (4-6\*10<sup>-3</sup> Pas.Sec) وبدرجة حرارة 37 درجة مئوية فإن تدفق الجريان كان يتراوح بين (95-115)  $\mu\text{L/sec}$  بينما نتائج الجهاز عند نفس اللزوجة والحرارة كانت سرعة الجريان التصميمية 100  $\mu\text{L/sec}$ ، النتائج العملية كانت تتراوح بين (120-

نعوض المعاملات أعلاه في المعادلات

(24) (25) (26) (27) (28) في المعادلة (24) نحصل على:

$$A_4(P_{i+1,j} - 2P_{i,j} + P_{i-1,j}) + A_1A_3(P_{i+1,j} - P_{i-1,j}) + A_6(P_{i,j+1} - 2P_{i,j} + P_{i,j-1}) = A_2 \dots \dots \dots (29)$$

بعد ترتيب المعادلة أعلاه نحصل على :

$$P_{i,j}(-2A_4 - 2A_6) + P_{i+1,j}(A_4 + A_1A_3) + P_{i-1,j}(A_4 - A_1A_3) + P_{i,j+1}(A_6) + P_{i,j-1}(A_6) = A_2 \dots \dots \dots (30)$$

نفرض أن :

$$\begin{aligned} B_1 &= 2A_4 + 2A_6 \\ B_2 &= A_4 + A_1A_3 \\ B_3 &= A_4 - A_1A_3 \\ B_5 &= A_2, \quad B_4 = A_6 \end{aligned}$$

بعد تعويض المعاملات ( $B_1 - B_5$ ) أعلاه في المعادلة رقم (30) وترتيبها نحصل على :

$$P_{i,j}B_1 = P_{i+1,j}B_2 + P_{i-1,j}B_3 + P_{i,j+1}B_4 + P_{i,j-1}B_5 \dots \dots \dots (31)$$

نقسم المعادلة أعلاه على ( $B_1$ ) نحصل على :

$$P_{i,j} = P_{i+1,j} \frac{B_2}{B_1} + P_{i-1,j} \frac{B_3}{B_1} + P_{i,j+1} \frac{B_4}{B_1} + P_{i,j-1} \frac{B_5}{B_1} \dots \dots \dots (32)$$

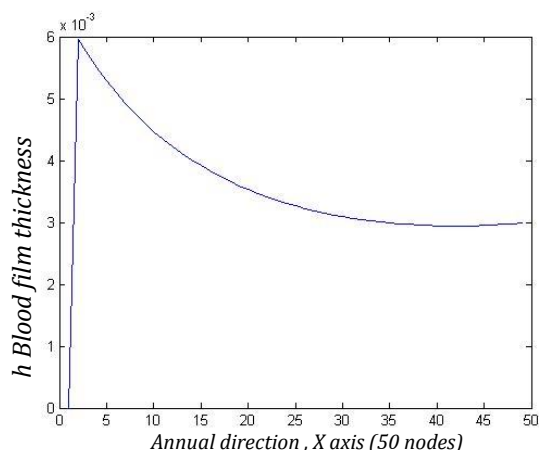
نفرض أن :

$$\begin{aligned} C_1 &= \frac{B_2}{B_1}, \quad C_2 = \frac{B_3}{B_1}, \quad C_3 = \frac{B_4}{B_1} \\ C_4 &= \frac{B_5}{B_1} \end{aligned}$$

نعوض المعاملات ( $C_1 - C_5$ ) أعلاه في المعادلة رقم (32) فنحصل على المعادلة :

$$P_{i,j} = C_1P_{i+1,j} + C_2P_{i-1,j} + C_3P_{i,j+1} + C_4P_{i,j-1} - C_5 \dots \dots \dots (33)$$

يتم حل معادلة رينولد مرتين، مرة باستخدام المعادلتين (7) و (8) للحالة الأولى لحساب سمك شريحة الدم ومشتقتها، ومرة ثانية باستخدام المعادلتين



**شكل (6)** سمك شريح الدم الكلية الناتجة من دوران الموتور وسكون المتدرج، للزوجة دم 0.025 Pas.Sec بعد دورة واحدة للموتور

### ضغط طبقة الدم (P)

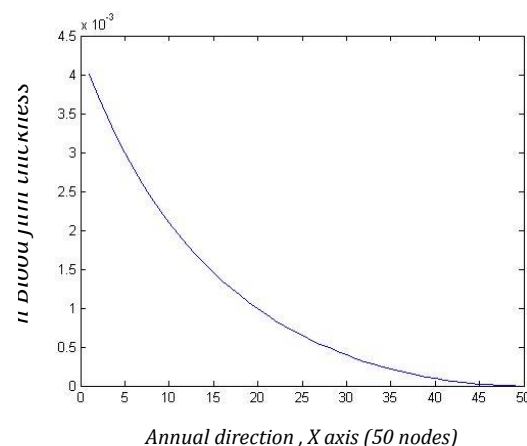
توضح الأشكال الثلاثية الأبعاد التالية ، (7) إلى (18)، طبيعة توزيع محصلة ضغط الدم المحصور بين المتدرجات والحلقة الخارجية للموتور بالاتجاه المحيطي (X) للمتدرج وفقا لحالة حدود الضغط الذي يسمى (half sommerfeld boundary condition) وهي النظرية التي تفترض أن جريان السائل الداخل أكبر من جريان السائل الخارج (inflow>outflow) وكذلك تفترض أن الضغط يتلاشى إلى الصفر عند الزاوية (α) (أي في نهاية منطقة التقارب (converge)) [8] عند سرعة محور 600 r.p.m مع محور الحركة باتجاه X لشبكة مكونة من 50 عقدة بالاتجاه الطولي و50 عقدة بالاتجاه المحوري العرضي وسرعة جريان الدم 60  $\mu\text{L/sec}$ ، إذ توضح المخططات أنه كلما ازدادت لزوجة الدم ازداد ضغط الدم بين المتدرجات وحلقة المسند ، وكلما ازداد عدد الدورات ازدادت استمرارية تدفق الدم ، كما نلاحظ أن الضغط السلبي الذي ينتج من دوران المتدرجات ينتج بسبب دوران المتدرج بعكس اتجاه الدوران وهو يكون ذو قيمة كبيرة بينما الضغط الموجب المتولد من دوران الموتور فإنه يكون ذو قيمة قليلة جداً ، وبذلك فإن الضغط الكلي المتولد من دوران الموتور والمتدرجات يكون ذو قيمة سالبة وذلك لأنه عكس اتجاه دوران الموتور ، كما نلاحظ أن أقصى قيمة للضغط المحوري يكون في منتصف المحور Z.

90  $\mu\text{L/sec}$  (90  $\mu\text{L/sec}$ ، في حين عند لزوجة  $10^{-3}$  Pas.Sec (22-25\*3 ودرجة حرارة 37 درجة مئوية فأن سرعة الجريان كانت تتراوح بين 6-7  $\mu\text{L/sec}$  بينما نتائج الجهاز عند نفس اللزوجة والحرارة كانت سرعة الجريان التصميمية 6  $\mu\text{L/sec}$  بينما النتائج العملية كانت تتراوح بين (5.63-7.5)  $\mu\text{L/sec}$  [2]، ويعود سبب ذلك الاختلاف في النتائج هو بسبب إهمال بعض العوامل التي لم تؤخذ بعين الاعتبار في الحسابات ضمن البحث، والتي منها تغير لزوجة مطاط الأنابيب الشعرية مع زيادة الاستهلاك وكذلك تأثير التشوه الحاصل في الأنبوب الشعري على مقدار الضغط المتولد.

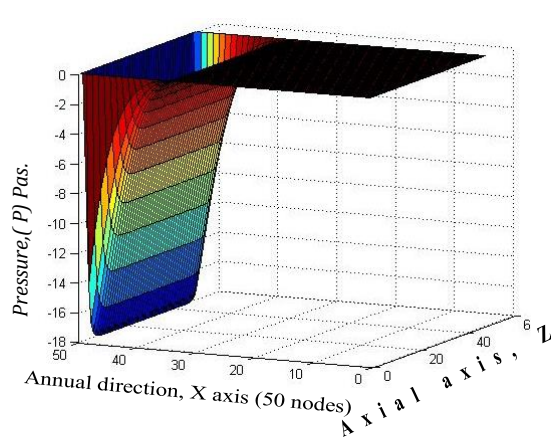
### سمك شريحة الدم (h)

يبين الشكلان رقم (5) و (6) طبيعة تغير سمك شريحة الدم (h) محيطياً، وذلك للحالتين الأولى والثانية، إذ يحكم هذه العلاقة طبيعة الشكل الهندسي للمسند الأسطواني وطبيعة شكل سطحي الاقتراب (convergence).

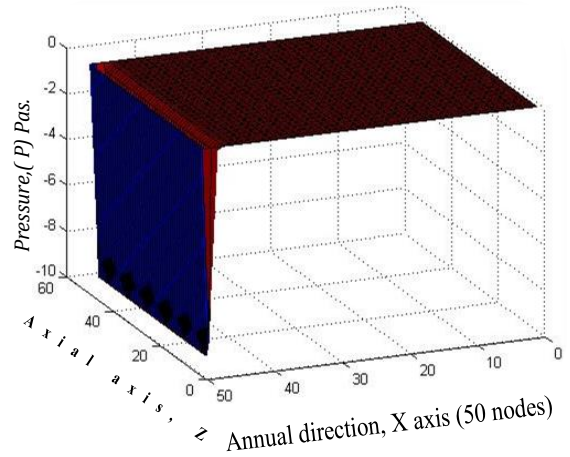
في الشكل الأول يظهر فيه تغير سمك شريح الدم في حالة دوران المتدرجات وسكون الحلقة الخارجية للموتور للزوجة دم 0.025 Pas.Sec بعد دورة واحدة للمتدرج ونلاحظ في الشكل أن مقدار سمك شريحة الدم ينحدر الى مقدار الصفر في نهاية الدورة الأولى للمتدرج الأول من الموتور، أما في الشكل الثاني فيظهر تغير سمك شريح الدم الكلية الناتجة من دوران الموتور وسكون المتدرج، للزوجة دم 0.025 Pas.Sec بعد دورة واحدة للموتور ونلاحظ في الشكل أن سمك شريحة الدم لا ينحدر الى الصفر كما الحالة السابقة، وذلك لأن الموتور يتكون من أربع متدرجات يستمر فيها الدم بالجريان وينتقل من متدرج إلى الآخر على التوالي.



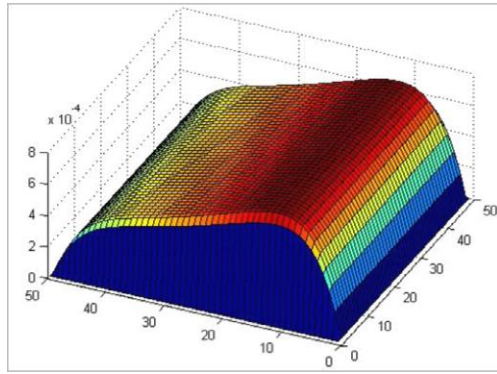
**الشكل (5)** سمك شريح الدم في حالة دوران المتدرجات وسكون الحلقة الخارجية للموتور، للزوجة دم 0.025 Pas.Sec بعد دورة واحدة للمتدرج



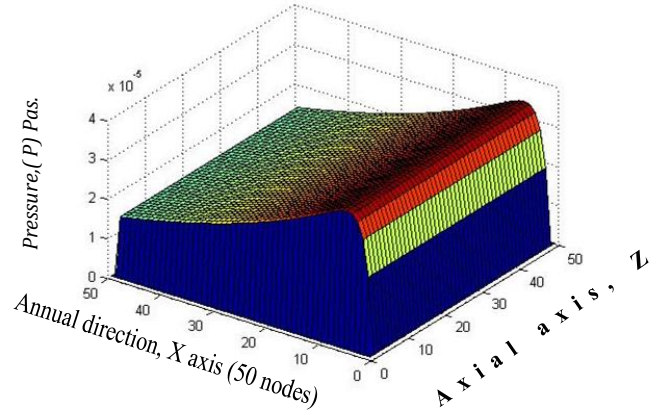
شكل (10) ضغط الدم في حالة دوران الموتور وسكون المتدحرج للزوجة دم Pas.Sec 0.004 بعد 20 دورة من المتدحرج



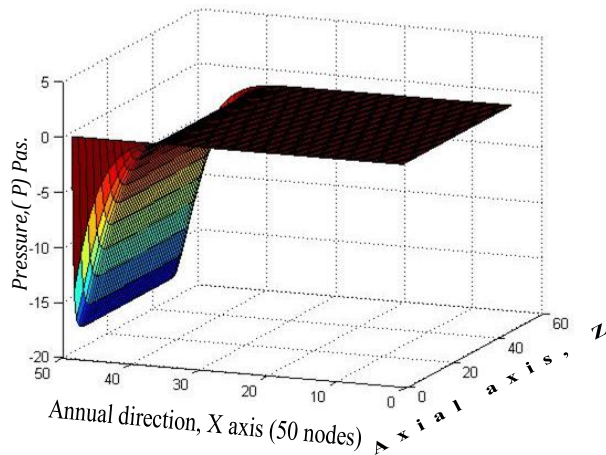
شكل (7) ضغط الدم في حالة دوران الموتور وسكون المتدحرج للزوجة دم Pas.Sec 0.004 بعد دورة واحدة من المتدحرج



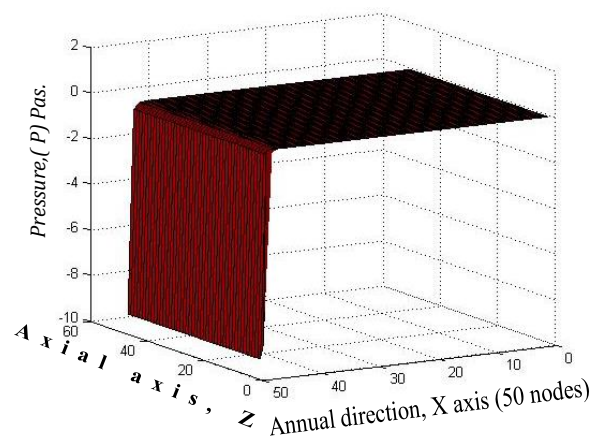
شكل (11) ضغط الدم في حالة انزلاق الموتور وسكون المتدحرج للزوجة دم Pas.Sec 0.004 بعد مسافة 20 دورة من المتدحرج



شكل (8) ضغط الدم في حالة انزلاق الموتور وسكون المتدحرج للزوجة دم Pas.Sec 0.004 بعد مسافة دورة واحدة من المتدحرج

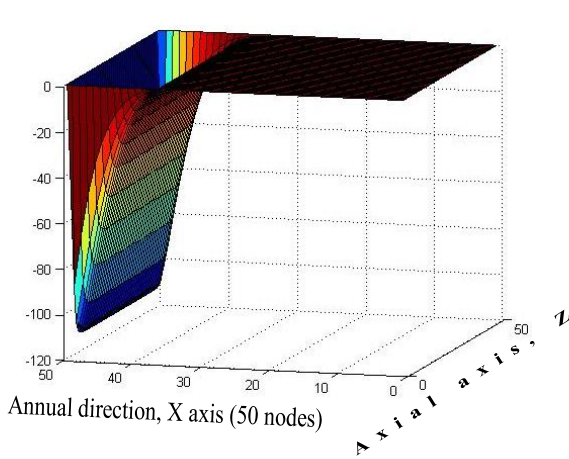


شكل (12) ضغط الدم الكلي للزوجة دم Pas.Sec 0.004 بعد 20 دورة للمتدحرج

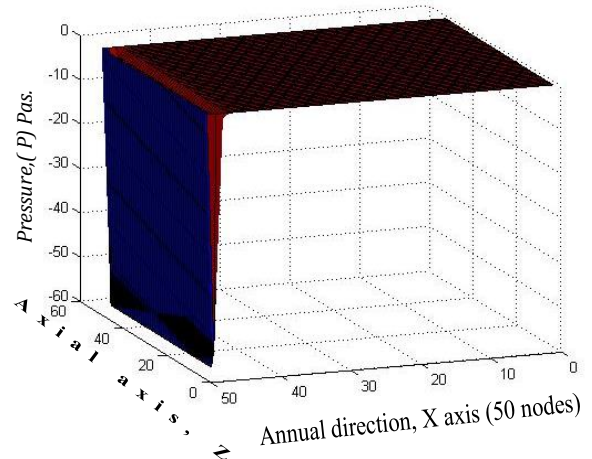


شكل (9) ضغط الدم الكلي للزوجة دم Pas.Sec 0.004 بعد دورة واحدة للمتدحرج

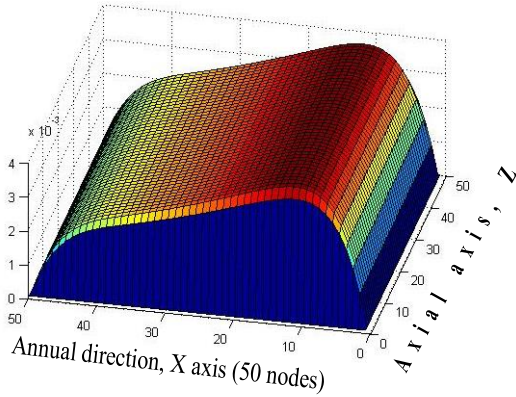




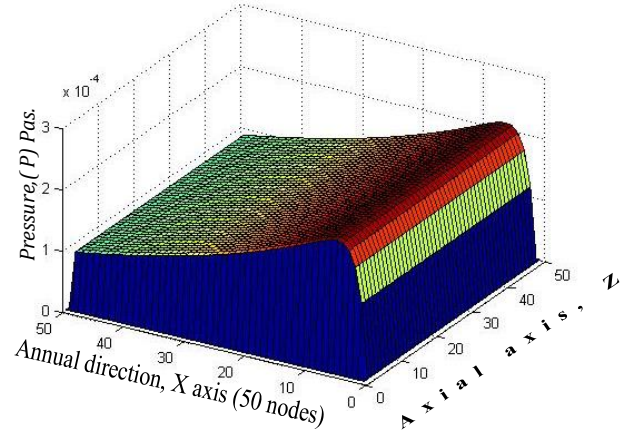
شكل (16) ضغط الدم في حالة دوران المتدرج وسكون الموتور للزوجة دم 0.025 Pas.Sec بعد 20 دورة للمتدرج



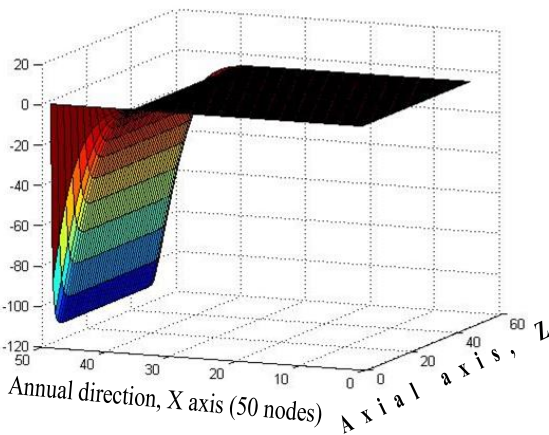
شكل (13) ضغط الدم في حالة دوران المتدرج وسكون الموتور للزوجة دم 0.025 Pas.Sec بعد دورة واحدة للمتدرج



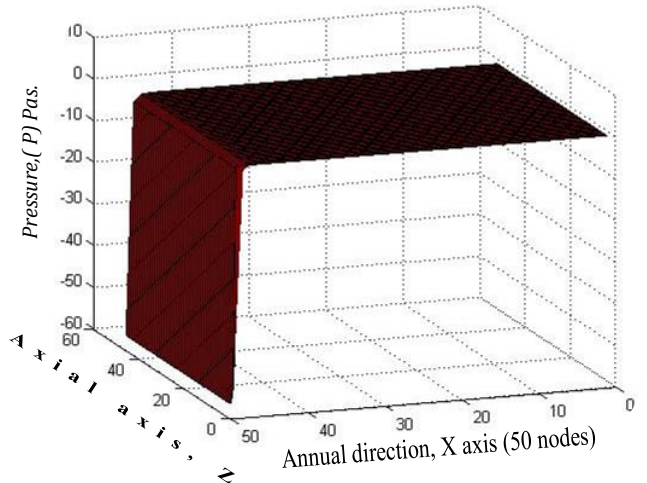
شكل (17) ضغط الدم في حالة انزلاق الموتور وسكون المتدرج للزوجة دم 0.025 Pas.Sec بعد مسافة 20 دورة من المتدرج



شكل (14) ضغط الدم في حالة انزلاق الموتور وسكون المتدرج للزوجة دم 0.025 Pas.Sec بعد مسافة 20 دورة من المتدرج



شكل (18) ضغط الدم للموتور للزوجة دم 0.025 Pas.Sec بعد مسافة 20 دورة من المتدرج



شكل (15) ضغط الدم الكلي للموتور للزوجة دم 0.025 Pas.Sec بعد دورة واحدة للمتدرج

## الاستنتاجات

- 1- من أهم الاستنتاجات التي تم التوصل إليها في هذه الدراسة هو أن القيمة المطلقة لضغط المتدحرجات الأسطوانية (السلبية) يكون أكبر من القيمة المطلقة لضغط قرص الموتور (الإيجابي) مما يعني إمكانية إهمال قيمة هذا الضغط مستقبلاً، وبذلك فإن عملية دفع السائل في اتجاه معين تتم عن طريق تدوير الموتور في اتجاه معاكس للاتجاه المطلوب تدوير ودفع السائل إليه في المضخة التوجيهية.
- 2- مقدار لزوجة الدم يتناسب طردياً مع مقدار القوة العمودية المسلطة على المتدحرجات وعلى أجزاء الموتور، كذلك فإن زيادة لزوجة الدم تسبب زيادة في إعاقة جريان الدم في الأنابيب الشعرية وانخفاض انسيابية الجريان مما قد يؤثر سلباً في احتمالية انسداد الأنابيب الشعرية نتيجة احتمالية تكون التكتلات الدموية أو قد يسبب عدم انتظام الجريان وبالتالي تكون الفقاعات الهوائية بين الدم والتي تعتبر من المشاكل المؤثرة في عملية قياس غازات الدم والنتيجة إعطاء قيم غير صحيحة لنتائج غازات الدم المراد قياسها.
- 3- لزوجة الدم تلعب دوراً مهماً ومؤثراً في توليد الضغط (السلبية) المتولد نتيجة الحركة الدورانية التدرجية للمتدحرجات الأسطوانية على الأنابيب المطاطية، وبالتالي مقدار الضغط الكلي المتولد فيها.
- 4- عملية سحب الدم بواسطة هذا النوع من المضخات التوجيهية يمنع رجوع الدم بالاتجاه المعاكس لاتجاه دفع الدم بواسطة عملية السيفون ودون الحاجة الى وجود صمامات راجعة.

## المصادر

- 1- ABL 555- Operator Manual, page No.12 / Training Start-up, page No. 1.
- 2- ABL555-service Manual 10.1, page 26, sec.8.1 page 4; 1999.
- 3- Gleen Elert, Viscosity. The physics Hypertext book.
- 4- Grotta, J, Ostrow P, Fraifeld E, Hartman D, and Gary H. Fibrinogen, blood viscosity, and cerebral ischemia. page 193, stroke -1985-grotta-192-8. <http://stroke.ahajournals.org/>.
- 5- Hematocrit, Volume Expander. Temperature, and shear rate effects on blood viscosity. Article in Anesthesia & Analgesia; October 2000 PubMed, <https://www.researchgate.net/publication/12362349>
- 6- Amoss E and Wskews B. A solution to Reynolds equation as applied to journal bearings by reduction to an ordinary differential equation. 1 Mech. Eng.;1978: 21-25.
- 7- Pemberton JC and Cameron A. Optical Study of the lubrication of a 65mm cylindrical roller bearing. 33 (3); 1981: 84-94
- 8- You HI. Lubrication of a lightly loaded sliding cylinder in normal motion. Journal of Tribology;1990.