

جـــامعة الخرطوم

كلـــية الهندســـة

قسم الهندسة الميكانيكية

تصميم وتصنيع جهاز لقياس الضغوط الدورية

اعداد

عدنان عيسي بليلة مهدي

محمد عبدالرحمن الفاضل ابراهيم

بحث مقدم كمتطلب جزئي لنيل درجة بكالريوس الشرف في الهندسة الميكانيكية بكلية الهندسة جامعة الخرطوم

اشراف

ب.محمد هاشم صديق

اغسطس ٢٠١٥

قلم الجزائر | WWW.DZPEN.COM

الآيـــــــة

بسم الله الرحمن الرحيم

قال تعالى:

(وَقُل رَّبِّ زِدْنِي عِلْماً)

صدق الله العظيم
سورة طه - الآية (١١٤)

قلم الجزائر | WWW.DZPEN.COM

شكر وتقدير

الشكر أولاً وآخيراً لله سبحانه وتعالى

ثم نتقدم بالشكر الجزيل للبروفيسور/ **محمد هاشم صديق** الذي لم يبخل علينا بعلمه الوافر حيث كان نعم المرشد والموجّه وظل متابعاً خطوة بخطوة حتى خرج البحث بهذه الصورة .

كما نتقدم بالشكر لأساتذة قسم الهندسة الميكانيكة الذين مافتئوا يحصنوننا بدروع العلم والمعرفة .

كما لايفوتنا أن نشكر المهندسة/ **دانية الصادق** وكل الذين مدّوا لنا يد العون و ساعدونا في الحصول على المعلومات المفيده.

قلم الجزائر | WWW.DZPEN.COM

التجريد

هذا البحث يتناول تصميم وتصنيع واختبار جهاز لقياس الضغط الدوري من مواد محلية يستخدم لقياس ضغط الانسان وتمت معايرة الجهاز المصنع مع جهاز قياسي مصنوع من قبل شركة مصنعة كما تمت معايرته مع جهاز بوردون وجهاز الكتروني

Abstract

In this project we designed , fabricated and tested a device for measuring cyclic pressure. As a special case, it can be used for measuring blood pressure in humans. The device was tested and compared to existing mercury, Bordon and electronic blood measuring devices

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

الإهـــــــــداء

إلى من علمني معنى الحياة

أبي

إلى غاية أملي ورضائي

أمي

إلى أعز الناس إلى قلبي

أخوتي

إلى كل من علمني حرفاً

أساتذتي

إلى كل من زاملتهم ورافقتهم عبر السنين

أهدي هذا البحث راجياً من المولى عز وجل التوفيق

عدنان / محمد

جدول المحتويات

الموضوع	رقم الصفحة
الباب الأول أجهزة قياس ضغط الدم	
١.١ المقدمة	١
٢.١ مقياس بوردون	٣
٣.١ المانوميتر	٥
٤.١ مقياس الضغط الجوي الزئبقي	٧
٥.١ مقياس ماكلويد	٧
الباب الثاني جهاز قياس ضغط الدم	
١.٢ ضغط الدم	١٠
٢.٢ قياس ضغط الدم	١١
٣.٢ أنواع أجهزة قياس ضغط الدم	١٣
٤.٢ أهمية جهاز قياس ضغط الدم	١٤
الباب الثالث التصميم والتصنيع والتكلفة	
١.٣ تصميم جهاز قياس ضغط الدم الزئبقي	١٥
٢.٣ تصنيع جهاز قياس ضغط الدم الزئبقي	١٧
٣.٣ تكلفة جهاز قياس ضغط الدم الزئبقي	١٨
الباب الرابع المعايرة والحسابات	
المعايرة	١٩
الحسابات	٢٢
الخلاصة	٣٢
التوصيات	٣٣
المراجع	٣٤

قلم الجزائر | WWW.DZPEN.COM

قائمة الأشكال

الشـــكل	رقم الصفحة
شكل ١.١ مقياس بوردون	٣
شكل ٢.١ مقياس بوردون	٤
ر شكل ٣.١ المانوميتر	٥
شكل ٤.١ المانوميتر	٦
شكل ٥.١ مقياس الضغط الجوي الزئبفي	٧
شكل ٦.١ مقياس ماكلويد	٧
شكل ١.٢ جهاز ضغط الدم	١٢
شكل ٢.٢ مكونات جهاز ضغط الدم	١٢
شكل ١.٣ الجزء الزئبقي	١٥
شكل ٢.٣ الحامل الخشبي	١٥
شكل ٣.٣ القاعدة	١٦
شكل ٤.٣ خزان الزئبق	١٦
شكل ٥.٣ معصم مطاطي	١٧
شكل ٦.٣ منفاخ مطاطي	١٧
شكل ٧.٣ قاعدة خشبية	١٧
شكل ٨.٣ نابض	١٧
شكل ١.٤ مقارنة بين الجهاز الزئبقي المصنع معمليا وجهاز الكتروني مصنع بواسطة شركة مصنعة	٢٣
شكل ٢.٤ مقارنة بين الجهاز الزئبقي المصنع معمليا وجهاز بوردون مصنع بواسطة شركة مصنعة	٢٥
شكل ٣.٤ مقارنة بين الجهاز الزئبقي القياسي وجهاز الكتروني مصنع بواسطة شركة مصنعة	٢٧
شكل ٤.٤ مقارنة بين الجهاز الزئبقي القياسي وجهاز بوردون مصنع بواسطة شركة مصنعة	٢٩
شكل ٥.٤ مقارنة بين الجهاز الزئبقي المصنع معمليا وجهاز زئبقي معاير بواسطة شركة مصنعة	٣١

قلم الجزائر | WWW.DZPEN.COM

قائمة الجداول

الجـــــدول	رقم الصفحة
١.١ جدول وحدات الضغط	٢
١.٣ جدول التكاليف	١٨
جدول (١.٤)	٢٢
جدول (٢.٤)	٢٢
جدول (٣.٤)	٢٤
جدول (٤.٤)	٢٤
جدول (٥.٤)	٢٦
جدول (٦.٤)	٢٦
جدول (٧.٤)	٢٨
جدول (٨.٤)	٢٨
جدول (٩.٤)	٣٠
جدول (١٠.٤)	٣٠

قلم الجزائر | WWW.DZPEN.COM

الباب الأول

أجهزة قياس الضغط

المقدمة:

١. الضغط

يعرف الضغط بأنه القوة التي تؤثر عمودياً على وحدة المساحة، ووحدته هي (N/m^2) والتي تسمى باسكال **(Pa).**

٢.١ الضغط الدوري

٣.١ الضغط المطلق

هو ضغط المائع منسوبا الى ضغط الحيز المفرغ من المائع.

٤.١ الضغط القياسي

هو الفرق بين الضغط الجوي والضغط المطلق .

٥.١ الضغط الفراغي

التفريغ هو أي ضغط أقل من الضغط الجوي العياري.

٦.١ الضغط الجوي

يعرف الضغط الجوي بأنه [القوة المسبَّبة بالهواء التي تؤثر على وحدة المساحة من سطح الأرض]. أو هو [وزن عمود من الهواء مساحة مقطعة متر مربع واحد، وطوله هو إرتفاع الغلاف الجوي، حوالي (3×10^5 m)]. وزن الهواء الموصوف سابقاً وجد أنه يكافئ [وزن عمود من الزئبق إرتفاعه (76cm) ومساحة مقطعه ($1mm^2$)].

٢. العوامل التي يتوقف عليها الضغط الجوي

يتوقف الضغط الجوي على عدة عوامل هي:

١.٢ الإرتفاع:

بما أن الضغط هو وزن عمود الهواء فوق وحدة المساحات فإنه يتأثر بشدة بتغير الإرتفاع، إذ تقل درجة حرارة الهواء مم يزيد من كثافته وبالتالي يزيد وزنه.

٢.٢ الرطوبة:

بما أن كثافة بخار الماء أقل من كثافة الهواء فإن إرتفاع نسبة الرطوبة في الجو تنقص من كثافة الهواء، وعلي فإن الضغط الجوي يقل عند زيادة الرطوبة.

٣.٢ درجة الحرارة:

عند إرتفاع درجة الحرارة يتمدد الهواء فتقل كثافته، وبالتالي يقل وزنه، أي تقل قيمة الضغط الجوي.

يقاس الضغط في النظام الدولي بوحدة تسمى الباسكال(pa) وهو يعادل قوةمقدارها واحد نيوتن مؤثر على مساحة مقدارها واحد متر مربع(N/m^2).

للضغوط الاكبر من الضغط الجوي

$$P_{gauge} = P_{abs} - P_{atm} \quad \text{----------(1.1)}$$

للضغوط الاقل من الضغط الجوي

$$P_{vaccum} = - P_{gauge} = P_{atm} - P_{abs} \quad \text{----------(2.1)}$$

الوحدة	باسكال (Pa)	بار (bar)	ضغط جوي تقني (at)	ضغط جوي (atm)	ميلليمتر زئبق (Torr)	باوند ثقلي في البوصة المربعة (psi)
1باسكال	1 N/m^2	10^{-5}	1.0197×10^{-5}	9.8692×10^{-6}	7.5006×10^{-3}	145.04×10^{-6}
1بار	100,000	10^6داين/سم^2	1.0197	0.98692	750.06	14.5037744
ضغط جوي 1تقني	98,066.5	0.980665	١كجم/سم^2	0.96784	735.56	14.223
ضغط 1جوي	101,325	1.01325	1.0332	1ضغط جوي	760	14.696
ميلليمتر 1زئبق	133.322	1.3332×10^{-3}	1.3595×10^{-3}	1.3158×10^{-3}	١ميلليمتر زئبق	19.337×10^{-3}
باوند ثقلي في البوصة المربعة	6,894.76	68.948×10^{-3}	70.307×10^{-3}	68.046×10^{-3}	51.715	psi١

١.١ جدول وحدات الضغط

3. النظام الدولي: International System

أدت الجهود المبذولة لتوحيد نظم القياس إلى تبني نظام موحد يطبق في كل الدول، سمى (النظام الدولي لوحدات القياس)، ويتكون هذا النظام من ثلاث مجموعات من وحدات القياس هي:

١.٣ مجموعة الوحدات الأساسية: Fundamental Units

تتكون هذه المجموعة من سبع وحدات هي المتر (m) لقياس الطول، الكيلوجرام (kg) لقياس الكتلة، والثانية (sec) لقياس الزمن، والأمبير (A) كوحدة لشدة التيار والشمعة العيارية (cd) لقياس شدة الإضاءة، والكلفن (k) كوحدة لقياس درجة الحرارة المطلقة، بينما إستخدام المول (mol) كوحدة لقياس كمية المادة.

٢.٣ مجموعة الوحدات المكملة : Complementary Units

تضم وحدتين فقط لقياس الزوايا، حيث تقاس الزواية المستوية بوحدة تسمى الراديان (rad)، أما الزاوية المجسمة فتقاس بوحدة الإستراديان (str).

٣.٣ مجموعة الوحدات المشتقة : Derived Units

وهذه المجموعة تضم أي وحدة أمكن إشتقاقها من ضرب أو قسمة وحدتين أساسيتين أو أكثر ، مثل النيوتن (N) حيث ($IN = 1\ kg\ .\ m\ .sec^{-2}$) والكلولوم (C) حيث ($IC = 1\ A\ .sec$).

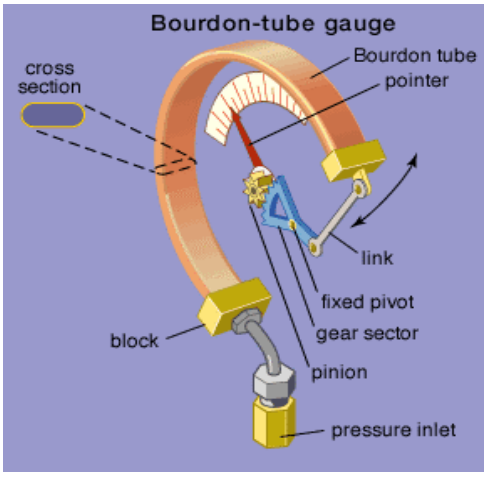
٤. اجهزة قياس الضغط

١.٤ مقياس بوردون



شكل ١.١ مقياس بوردون

يتكون مقياس بوردون من اجزاء ثابتة اجزاء ومتحركة



شكل ٢.١ مقياس بوردون

١.١.٤ الاجزاء المتحركة

١. طرف انبوب بوردون الحر

٢. وصلة لنقل الحركة بين الطرف الحر والمسنن

٣. مسنن نصف دائري

٤. مسنن لتحريك المؤشر

٥. المؤشر

٢.١.٤ الاجزاء الثابتة

١. طرف انبوب بوردون الثابت

٣.١.٤ ألية العمل

يتم توصيل الانبوب المراد قياس ضغط المائع الموجود به بالطرف الثابت لإنبوب بوردون ،فبعد دخول المائع الى انبوب بوردون وملء الفراغ البداخله ،يؤثر المائع على الانبوب بضغط ، فيتمدد الانبوب حسب مقدار الضغط ،ونتيجة لذلك الضغط يتحرك الطرف الحر ويؤدي ذلك الى حركة الوصلة فتنتقل الحركة الى المسننات فيتحرك بذلك المؤشر ليعطي قراءة تعبر عن مقدار الضغط.

يكون مقطع انبوب بوردون بيضاوي الشكل مما يتيح له اقصى انحراف في الاتجاه الرأسي.فإذا كان المقطع دائري سيؤدي ذلك الى حدوث إنحراف افقي مما يؤدي الى حدوث خطا في القياس.

٤.١.٤ مزايا مقياس بوردون

١. يعطي قياسات دقيقة.

٢. غير مكلف.

٣. يتكون من اجزاء بسيطة.

٤. يمكن ان يدمج في نظام كهربائي ليعطي نتائج افضل.

٥. اكثر امانا عند الضغوط الكبيرة.

٦. ذو دقة علية خاصة عند الضغوط العالية.

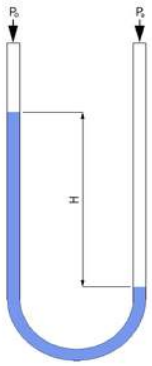
٥.١.٤ عيوب مقياس بوردون

١. بطيء الاستجابة للتغير في الضغط

٢. يتأثر بالإهتزازات والصدمات

٣. لايمكن ان يستخدم لقياس الضغوط الصغيرة

٢.٤ المانوميتر



شكل ٣.١ المانوميتر

١.٢.٤ المكونات

انبوب على شكل u مملوء بسائل(زئبق او ماء او زيت).

٢.٢.٤ الية العمل

يوصل احدى طرفي المانوميتر بالمائع المراد قياس ضغطه فيؤدي تغير الضغط الى حدوث فرق في الارتفاع بين ساقي المانوميتر. ويحسب فارق الضغط بالمعادلة

$$P_1-P_2=\Delta h g \rho \text{----------} (3.1)$$

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

٣.٢.٤ مزايا المانوميتر

١. لا يمكن معايرته بأي معيار اخر.

٢. يصلح للاستخدام لفترات طويلة دون حدوث تشوة(و عمر طويل).

٣. بسيط واقل تكلفة من غيره.

٤.٢.٤ عيوب المانوميتر

١. لا يمكن ان يستخدم لقياس الضغوط الكبيرة

٢. بعض السوائل يكون سطحها مقعر ممايؤدي الى حدوث خطأ في القياس.

٣. التوتر السطحي للسوائل في الانابيب الشعرية (التي قطرها اقل منة ١٥ ملم)يؤدي الى القياس الخاطيء.

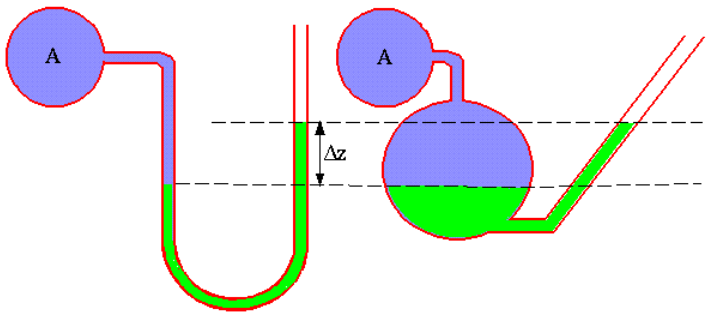
٤. من اكبر العيوب انه لا يمكن ان يستخدم لقياس الضغوط المتغيرة لأنه بطيئ الاستجابة.

٥.٢.٤ نقاط مهمة توضع عين الاعتبار في المانوميتر

١. ان لا يقل قطر الانبوب عن ١٥ملم.

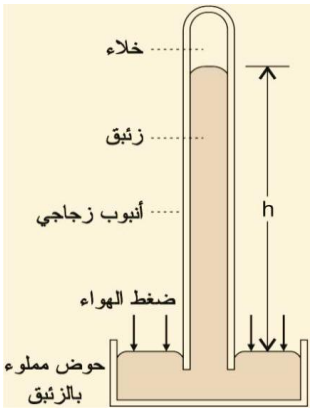
٢. التاكد من خلو الانبوب الذي يصل بين المانوميتر والخزان او الانبوب المراد قياس ضغط السائل الموجود بداخله من الفقاعات.

٣. يفضل استخدام المانوميتر المائل في حالة الضغوط المنخفضة جدا،لانه يمكن من قراءة التغير الطفيف في الضغط وذلك لان الزيادة في مستوى ارتفاع المائع تظهر بوضوح في الانبوب المائل.



شكل ٤.١ المانوميتر المائل

٣.٤ مقياس الضغط الجوي الزئبقي



شكل ٥.١ مقياس الضغط الجوي الزئبقي

١.٣.٤ المكونات

١. حوض مملوء بالزئبق.

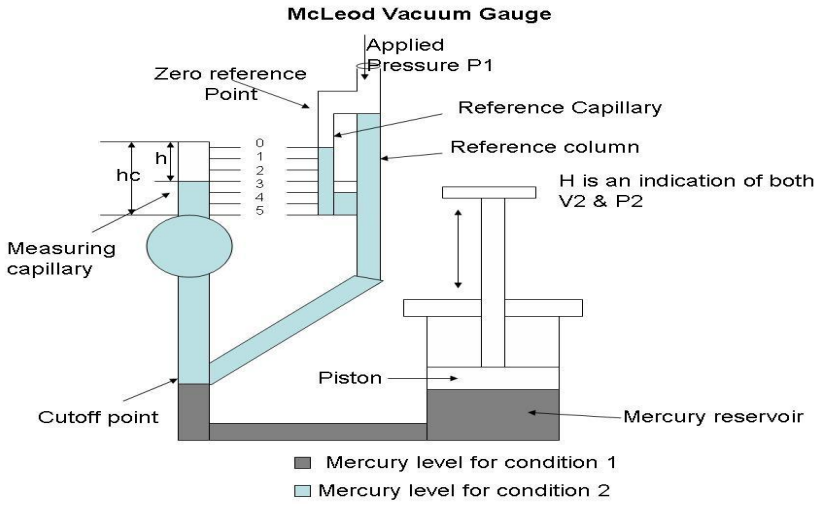
٢. انبوب بطول متر مغلق عند احد طرفيه

٢.٣.٤ الية العمل

يتم وضع الانبوب راسيا في حوض الزئبق بحيث يكون طرفه المغلق الى اعلى والطرف المفتوح الى اسفل بحيث يكون الانبوب مغمور جزئيا داخل الزئبق.فعندما يؤثر الضغط الجوي على سطح الزئبق الموجود في الحوض يؤدي ذلك الى انخفاض مستوى الزئبق في الحوض وارتفاعه داخل الانبوب ، ويحسب مقدار الضغط من المعادلة.

P= hgρ----------(4.1)

٤.٤ مقياس ماكلويد



شكل ٦.١ مقياس ماكلويد

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

يستخم لقياس الضغوط المنخفضة جدا.

الغاز المراد قياس ضغطه لا بد من ان يحقق قانون بويل

$p_1v_1=p_2v_2$----------(5.1)

١.٤.٤ المكونات

خزان زئبق مغمور فيه مكبس ، يتصل الخزان بعمود مرجعي وبصيلة عند نقطة تسمى cutoff point . يتصل العمود المرجعي بانبوب شعري مرجعي به نقطة مرجعية تسمى نقطة الصفر.يوجد في قمة البصيلة انبوب مدرج .

٢.٤.٤ الية العمل

توجد حالتان للمقياس

الحالة الاولى: عندما لايكون المكبس تحت تأثير قوة

عندما يوصل الانبوب المراد قياس ضغط الغاز الموجود بداخله بالعمود المرجعي يملأء الغاز الانبوب الشعري المرجعي والعمود المرجعي والبصيلة والانبوب المدرج .تكون الاجزاء الاربعة مملوءة بالغاز حتى حد النقطة التي تسمى cutoff point .الجزء اسفل الـ cutoff point يكون مملوء بالزئبق حتى الخزان .

الحالة الثانية:عندما تبدأ قوة خارجية بالتأثير على المكبس

عندما تؤثر قوة خارجية على المكبس، يضغط المكبس الزئبق الى أسفل فيرتفع الزئبق الى اعلى في الجانب الاخر من المقياس ومع استمرار تاثير القوة يستمر الزئبق في الارتفاع حتى يصل point cutoff.مع استمرار ارتفاع الزئبق ينحصر الغاز المراد قياس ضغطه في الانبوب المدرج حتى وصول الزئبق للنقطة المرجعية الصفرية.

وحينها يتم حساب p_2 وv_2 وv_1وفقا للمعادلات الاتية:

$v_1=v+ah_c$----------(6.1)

v يمثل حجم البصيلة.

a تمثل مساحة مقطع الانبوب المدرج.

hc يمثل ارتفاع الانبوب المدرج.

v_1 يمثل حجم الغاز قبل الانضغاط.

v_2= ah----------(7.1)

v_2 حجم الغازبعد الانضغاط.

h يمثل ارتفاع الغاز المحصور فيالانبوب المدرج.

$P_2=p_1+hg\rho$----------(8.1)

P_1 يمثل ضغط الغاز المراد قياسه.

P_2ضغط الغاز بعد عملية الانضغاط.

بتعويض المعادلتين ٢ و٣ في قانون بويل نحصل على:

$p_1v_1=(p_1+hg\rho)ah$----------(9.1)

$p_1v_1=p_1ah+ah^2g\rho$----------(10.1)

$p_1v_1-p_1ah=ah^2g\rho$----------(11.1)

وبالتالي نتحصل على قيمة p_1من العلاقة:

$$p_1=g\rho\frac{ah^2}{V_1-ah}$$----------(12.1)

المقدار ah صغير جدا مقارنة بالمقدارv_1 لذلك يمكن اهماله

$$p_1=\frac{ah^2}{V_1}$$

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

الباب الثاني

جهاز قياس ضغط الدم

ضغط الدم

هو قوة دفع الدم لجدران الاوعية الدموية التي ينتقل خلالها اثناء تغذيته لكافة انسجة الجسم واعضائه فيما يعرف بالدورة الدموية .تبدا الدورة الدموية مع انقباض عضلة القلب ليدفع بقوة كل محتوياته من الدم فتنتقل بدورها من القب الى الشريان الابهر أضخم شرايين جسم الإنسان ومنه إلى بقية شرايين الجسم، ثم ينبسط القلب ليسمح بامتلائه بكمية جديدة من الدم لينقبض من جديد دافعا بشحنة جديدة إلى الشريان الأبهر مرة أخرى وهكذا دواليك. تبين الإحصاءات الطبية الأهمية الكبرى للحفاظ على ضغط الدم بحيث يكون في المتوسط ١١٥\٧٥ مليمتر زئبق ، وأن زيادته عن هذا الحد تؤدي لى إجهاد القلب والكلى ، وقد يؤدي ارتفاعه إلى سكته دماغيه او العقم المبكر عند الرجال.

يتميز الشريان الأبهر بالمرونة فعندما يندفع الدم القادم من القلب يحدث ضغطا عاليا على جدران الشريان تتسبب في تمدده جانبيا وأثناء الانبساط القلبي يستعيد الشريان وضعه الطبيعي فيضغط على الدم الذي يحتويه متسببا في اندفاعه وبذلك يستمر الدم في الجريان أثناء الانبساط. يسمى ضغط الدم أثناء انقباض القلب **بالضغط الانقباضي** وفي حالة الانبساط يسمى **الضغط الانبساطي** ودائما ما يكون الضغط الانقباضي أعلى في قيمته من الضغط الانبساطي وعند قياس ضغط الدم تكتب القراءة على هيئة كسر على سبيل المثال ١٢٠\٨٠ حيث قيمة الضغط الانقباضي هي العليا وقيمة الانبساطي هي السفلى.

١. *اهمية قياس ضغط الدم*

تكمن أهمية قياس ضغط الدم في تلافي المضاعفات الناتجة عن أي خلل سواء بالزيادة أو النقصان في قياس ضغط الدم حيث أنه عند ارتفاعه فذلك يعني ان القلب يواجه مقاومة كبيره ليضخ الدم إلى شرايين الجسم مما يتسبب على المدى الطويل في فشل القلب والذي يؤدي بدوره إلى الوفاة كما ان ضغط الدم العالي يؤدي ايضا الى سقطة دماغية اوفشل كلوي، هذا إن لم يتم تدارك المرض في بدايته بالعقاقير الطبية المناسبة.

كما أن انخفاض ضغط الدم توحي بأن كمية الدم الواصلة إلى أعضاء الجسم لا تصل بالقدر الكافي أو السرعة الكافية مما يعني نقصان وصول الاوكسجين والغذاء الى أنسجة الجسم مما يضر بها متسببا في تدمير جزئي أو كلي خاصة المخ والذي يعد أول الأعضاء تأثرا ليتسبب بشعور الإنسان بنوبات من الإرهاق والضعف العام قد يعقبها فقدان الفرد لوعيه.

بصفة عامة يعتبر ضغط الدم المنخفض "مرضا" إذا كانت له أعراض مثل الدوخة والضعف العام المستمر.

٣.قياس ضغط الدم

يقاس ضغط الدم بوحده تسمى ميليمتر زئبق في حالة الاسترخاء (أي يكون الإنسان ساكنا مستريحا) فنجد أن القياس الطبيعي لضغط الدم الانقباضي للبالغ متوسط العمر يتراوح بين ٩٠ و ١٤٠ مليمتر زئبق أما الانبساطي فيتراوح بين ٦٠ و ٩٠ ملم زئبق . أي أن المتوسط ١٢٠ ملم زئبق انقباضي و ٨٠ ملم زئبق انبساطي زئبق ، وتقرأ ٨٠/١٢٠ مليمتر زئبق، فيما يسميه العامة ١٢٠ فوق ٨٠ أو ١٢٠ على ٨٠ مليمتر زئبق . ولقياس ضغط الدم يستخدم الجهاز الإلكتروني في المنزل أو الجهاز اليدوي في عيادة الطبيب وهو يعرف بجهاز قياس الضغط الزئبقي وهو الأدق.

تصنيف ضغط الدم في البالغين (بالمليمتر زئبق)		
عمود الانبساطي	**عمود الانقباضي**	**عمود ضغط الدم**
أقل من ٨٠	أقل من ١٢٠	مستوى طبيعي
80-89	120-139	مستوى ما قبل المرضي
90-99	140-159	المرحلة الأولى من فرط ضغط دموي متوسط الشدة
أكثر من ١٠٠	أكثر من ١٦٠	المرحلة الثانية من فرط ضغط دموي شديد

٤.ماهو جهاز ضغط الدم



شكل ١.٢ جهاز ضغط الدم

Sphygmomanometers هو مصطلح اغريقي يعني مقياس ضغط الدم . مصطلح يأتي من الكلمة اليونانية "pulse"التي تعني "نبض" و "manometer" التي تعني ضغط المتر . هو وسيلة تستخدم لتقييم ضغط الدم والتعبير عن مدى القوة التي يؤثر بها الدم على الشرايين .

١.٤ المكونات



شكل ٢.٢ مكونات جهاز ضغط الدم

١. طوق للمعصم أو رباط مطاطي واسع يمكن أن يُملأ بالهواء

٢. مُنتَفَخ مطاطي يمكن أن يضخ الهواء في الطوق

٣. مقياس أو أنبوب زجاجي يحتوي على زئبق

٤. سماعة طبية

٢.٤ عملية القياس

لقياس ضغط الدم، يتم لف الطوق حول ذراع المريض. وتُوضع سماعة الطبيب على الشرايين أسفل الطوق مباشرة. ويُمكن سَماع نبضات الدم في الشرايين. يتم ضخ الهواء داخل الطوق مما يجعله يضغط على الشرايين. ويوقف بذلك سريان الدم، ولا يمكن سماع النبضات. ثم يُفرغ الهواء ببطء من الطوق. وعندما يصبح ضغط الطوق أقل من ضغط الدم، يعود سريان الدم. ويسمى الضغط الذي يبدأ فيه سريان الدم الضغط الانقباضي، وهو يمثل ضغط الدم عند انقباض القلب. ويُحدد هذا الضغط بقراءة المقياس أو الأنبوب الزجاجي الذي يحتوي على الزئبق. وكلما خرج الهواء من الطوق تصبح الأصوات خامدة. ويسمى الضغط في هذه النقطة الضغط الانبساطي، وهو يمثل ضغط الدم عند ارتخاء القلب.

٣.٤ أنواع أجهزة قياس ضغط الدم

يوجد ثلاث أنواع لأجهزة قياس ضغط الدم:

- اجهزة رقمية، وتتم عملية ضخ الهواء بطريقة يدوية، والتي يمكن استعمالها في الأماكن التي بها ضوضاء حيث لا يشترط دقة الاستماع للنبض عن طريق سماعة طبية .
- أجهزة رقمية محمولة، وتكون أقل دقة في القياس. وتستخدم لقياس ضغط الدم على الأصبع أو الرسغ وتظهر القراءة عن طريقة شاشة حيث يظهر فرق الضغطين الانقباضي والانبساطي وسرعة دقات القلب والنبض.
- أجهزة يدوية زئبقية والتي يجب أن يستخدمها أشخاص مدربون. ويشترط عند استعمالها عدم وجود ضوضاء لدقة بدء سماع صوت النبض.

وتستخدم مقاييس ضغط الدم اليدوي مع سماعة الطبيب ، الأجهزة اليدوية الاكثر شيوعا تشمل مقاييس ضغط الدم الزئبقي ، ويعتبر الجهاز الزئبقي معيار الذهب في قياس ضغط الدم مقارنة مع أنواع أخرى، وأخطاء المعايرة لا تحدث في كثير من الأحيان وهو ذو دقة وموثوقية عالية للغاية . من ناحية أخرى تستخدم الأجهزة اللاسائلية ولكن تحتاج إلى فحوص منتظمة للمعايرة، الذي هو على خلاف قياس الضغط الزئبق . أجهزة قياس الضغط اللاسائلي هي أقل تكلفة وتعتبر أكثر أمانا من الأجهزة المحتوية

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

على الزئبق .اجهزة قياس الضغط الرقمية هي الأجهزة الإلكترونية التي تستخدم قياسات الذبذبات والحسابات الإلكترونية لقياس ضغط الدم. هذه الأجهزة هي سهلة التشغيل حتى لشخص من دون تدريب.

٤.٤ اختيار الجهاز المناسب

من الافضل اختيار الجهاز الذي يقيس ضغط الدم في الجزء العلوي من الذراع وليس على المعصم أو الإصبع .يجب التاكد أن الجهاز قد أدرج في قائمة "التحقق من صحة سريريا" يشير التحقق من أن الجهاز قد اجريت عليه لسلسلة من الاختبارات للتأكد من دقته وكفائته. الحصول على واحد مع معصم من الحجم الصحيح، الكفة الغير مناسبة الحجم يمكن أن تعطيك قراءات غير صحيحة.

٥.٤ اهمية وجود الجهاز في المنزل

أن تكون قادرة على مراقبة ضغط الدم في المنزل له فوائده، أولا تكون قادرا على تتبع ضغط الدم بصورة منتظمة، ويمكن بسهولة أن تلاحظ أي زيادة أو نقصان من ما هو غيرطبيعي أيضا، يمكن أن تساعد في تحديد ما إذا كانت الأدوية التي تتناولها تؤثر على ضغط الدم ام لا . الناس الذين يراقبون ضغط الدم لديهم في المنزل يشعرون بأنهم أكثر سيطرة على حالتهم مما يؤدي الى الاستقرار النفسي. قياس ضغط الدم يوميا يوحي ما اذا كان هنالك مخاطر قابلة للحدوث ام لا وبالتالي تجنب حدوث تلك المخاطر.

الباب الثالث

التصميم والتصنيع والتكلفة

٣. التصميم

١.١.٣ الجزء الزئبقي



شكل ١.٣ الجزء الزئبقي

صمم الهيكل الاساسي من الخشب والذي يتكون من جزئيين رئيسيين

الجزء الاول عبارة عن لوح راسي ويمثل الحامل (الشكل٢.٣)



شكل ٢.٣ الحامل الخشبي

الجزء الثاني عبارة عن لوح افقي يمثل القاعدة (الشكل٣.٣)



شكل ٣.٣ القاعدة

يبلغ ارتفاع الحامل(400 ملم)،ويبلغ طول القاعدة (١٢٠ملم).ويبلغ عرض كل من الحامل والقاعدة(١٢٠ملم)والسمك (٢٥ملم).

تحمل القاعدة خزان الزئبق البلا ستيكي (الشكل٤.٣)الذي يبلغ حجمه ( )



شكل ٤.٣ خزان الزئبق

يحمل الحامل مسطرة التدريج المصنوعة من الحديد الكربوني(الشكل١.٣)، حيث يبلغ طولها (٣٠٠ملم)، كما يحمل الحامل الانبوب الزجاجي (الشكل٢.٣) الذي يبلغ قطره الخارجي (٩ملم) والداخلي(٣ملم)وطوله (٣٠٤ملم).

٢.١.٣ الجزء المطاطي

يتكون الجزء المطاطي من طوق المعصم (شكل٥.٣) ومنفاخ الهواء (الشكل٦.٣).وتصنع هذه الاجزاء من المطاط وتم إختيارها دون تصميمها وتصنيعها لأنها عيارية (standard) بالاضافة الى ان تصميمها وتصنيعها اكثر تكلفة من شرائها .



شكل ٥.٣ معصم مطاطي



شكل ٦.٣ منفاخ مطاطي

٢.٣ التصنيع

قطع اللوح الخشبي الى جزئين (الحامل والقاعدة) . وربطت القاعدة مع الحامل بواسطة مساميربحيث يكون المسقطين الجانبيين الايمن والايسر للهيكل الناتج من تثبيت الحامل والقاعدة على شكل (L) كما موضح بالشكل(٧.٣).



شكل ٧.٣



شكل ٨.٣

اجريت عملية تفريغ على سطح القاعدة(ازالة جزء من سطح المادة) بعمق (٤ملم) بوسطة الازميل لتثبيت خزان الزئبق في موضع المادة المزالة بحيث يكون خزان الزئبق ملامس للحامل كما موضح بالشكل (٤.٣).

ثبت الانبوب الزجاجي على الحامل راسيا بحيث يكون موازي للمسطرة المدرجة وبحيث تكون قاعدة الانبوب داخل مخرج خزان الزئبق كما موضح بالشكل(١.٣).

وضعت دعامة من الحديد أعلى الأنبوب الزجاجي و ثبتت بمسامير علي الحامل ، و زودت بنابض (الشكل٨.٣) بحيث

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

يؤثر النابض علي الدعامة بقوه ضغط و بالتالي تؤثر الدعامة علي الطرف العلوي للأنبوب الزجاجي بقوه ضغط تمنع حركة الانبوب الزجاجي و تسرب الزئبق عند ارتفاعه في الانبوب الزجاجي .

وصل طرف الانبوب الاول للطوق المطاطي بالمنفاخ الهوائي و طرف الانبوب الآخر للطوق بالفتحه العلوية لخزان الزئبق وبذلك يشكل الجزء المطاطي والزئبقي معا الجهاز.

٣.٣ جدول التكاليف

تكلفة الجهاز الزئبقي

الكمية	النوع	السعر (جنيه)
٠.٠٩٦ كيلو جرام	زئبق	٩٦
١	نابض معدني	١٠
١	أنبوبة زجاجية	١٠
١	حامل خشبي	٢٠
١	خزان الزئبق	٢٥
١	مسطرة مدرجة	٥
١	طوق مطاطي مع منفاخ وبلق	٢٥
	الإجمالي	**١٨١**

١.٣ جدول التكاليف

مقارنة بين أسعار الأجهزة

سعر الجهاز الإلكتروني	٣٠٠
سعر جهاز بوردون	٢٥٠
سعر الجهاز الزئبقي المستورد	٥٠٠

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

الباب الرابع

المعايرة والحسابات

٤. المعايرة

هـي مقارنة الأجهزة المستخدمة بأجهزة عيارية متفق عليها عالمياً من حيث الدقة ومحفوظة تحت ظروف بيئية محددة

معظم عمليات المعايرة التي تتم في المختبرات الطلابية هي عمليات مقارنة بأجهزة معلومة الدقـة الهدف منها معرفة الدقة في القياس

١.٤ القياس

إيجاد مقدار كمية فيزيائية أو متغير فيزيائي أو تقدير حالة ما باستخدام جهاز مناسب أو أداة مناسبة

إذا كان الجهاز المستخدم جهازاً عيارياً متفق عليه عالمياً اعتبرت عملية القياس عمليـة معايرة وتكون عندئذ الكمية المقاسة كمية عيارية أما إذا لم يكن الجهاز عيارياً فتكون عملية القيـاس عبارة عن مقارنة بالكمية القياسية وقد يستخدم في ذلك جهاز تمت معايرته من قبل.

١.١.٤ المفاهيم التي تستخدم في عملية القيـاس

١.الصحة (الدقة)

دقة الجهاز هي مقدرته على إعطاء قراءة تكون أقرب إلى القراءة الحقيقية "العيارية". وكلما أعطـى الجهاز قراءة أقرب إلى المقدار الحقيقي "العياري" للكمية المقاسة كلما كان الجهاز دقيقاً

تعتبر الدقة مقياساً لدرجة الخطأ في النتيجة النهائية المقاسة ويمكن تحديد دقة الجهاز بإعطاء مـدى الخطأ الذي يعطيه الجهاز عند قياس مدى معين من المقدار المقاس مثلاً: ترمومتر وصف بأنه يعطي خطأ قدره ± 5.0°Cفي المدى (50°C to 100°C) يمكن أن يقال أن دقته هي 5.0°C± في هـذا المدى .

٢.الضبط (الاحكام)

الضبط هو مقدرة الجهاز على إعطاء نفس القراءة عند تكرار عملية القياس بنفس الجهاز

كلما كان الجهاز مضبوطاً كلما كانت القراءات التي يعطيها لنفس الكمية عند تكرار عملية القياس متقاربة مـع بعضها البعض.

٣.استجابة الجهاز

هي مقدار الإزاحة التي يمكن أن يحدثها أقل مقدار من الكمية المقاسة يكون مقروءا

٤.خطأ القياس

هو الفرق بين مقدار الكمية المقاسة والمقدار الحقيقي "أو العياري" للكمية

٢.١.٤ انواع اخطاء القياس

الخطأ الاجمالي

هذا النوع من الخطأ يتضمن الأخطاء الإنسانية في قراءة واستخدام الأجهزة وفي تسجيل وحساب نتائج القياس.

هذه الأخطاء لا يمكن معالجتها حسابياً ولكن يجب تجنبها بالاهتمام والعناية ومعرفة أخذ القراءات الصحيحة وتسجيلها بالممارسة والتمرين ويجب تحت كل الظروف عدم الاكتفاء بأخذ قراءة واحدة بل أخذ ثلاثة قراءات مختلفة على الأقل لنفس الكمية تحت ظروف مختلفة

الاخطاء الرتيبة

تنقسم عادة إلى مجموعتين هما:

١.أخطاء الأجهزة التي تحدث من عيوب الأجهزة

هي أخطاء متأصلة في أجهزة القياس نسبة للأجهزة الميكانيكية المتحركة التي تتأثر بالاحتكاك وينشأ من ذلك ما يعرف بخطأ الاحتكاك أو يحدث التواء في "الياي" المتصل بأجزاء الدوران أو عدم انتظام في تمدد زمبرك نتيجة لسوء استخدام الجهاز مثل تمرير تيار أعلى من المسموح به فتؤدي هذه العيوب إلى أخطاء في القراءة تعرف بأخطاء التشوه. ومن الأخطاء أيضاً أخطاء تحدث نتيجة لقدم الجهاز .

٢.الأخطاء البيئية التي تحدث من تأثير الوسط المحيط بالأجهزة

هي أخطاء المؤثرات الخارجية مثل الآثار الحرارية وأثر الرطوبة أو الضغط الجوي أو المجالات الكهربية والمغنطيسية على الأجهزة.

هذه الأخطاء يمكن التخلص منها باتخاذ الاحتياطات اللازمة ومعالجة الظروف المحيطة بالأجهزة قبل استخدامها

٢. الاخطاء العشوائية

هذه الأخطاء لا يعرف أسبابها وتكون موجودة دائماً حتى بعد التخلص من كل الأخطاء الرتيبة وبالرغم من أن الأخطاء العشوائية في التجارب التي يخطط لها تخطيطاً دقيقاً تكون عادة صغيرة لكنها ذات أهمية بالغة متى كانت الدقة المطلوبة عالية.

الحسابات

١.مقارنة بين الجهاز الزئبقي المصنع معمليا وجهاز الكتروني مصنع بواسطة شركة مصنعة

القراءات

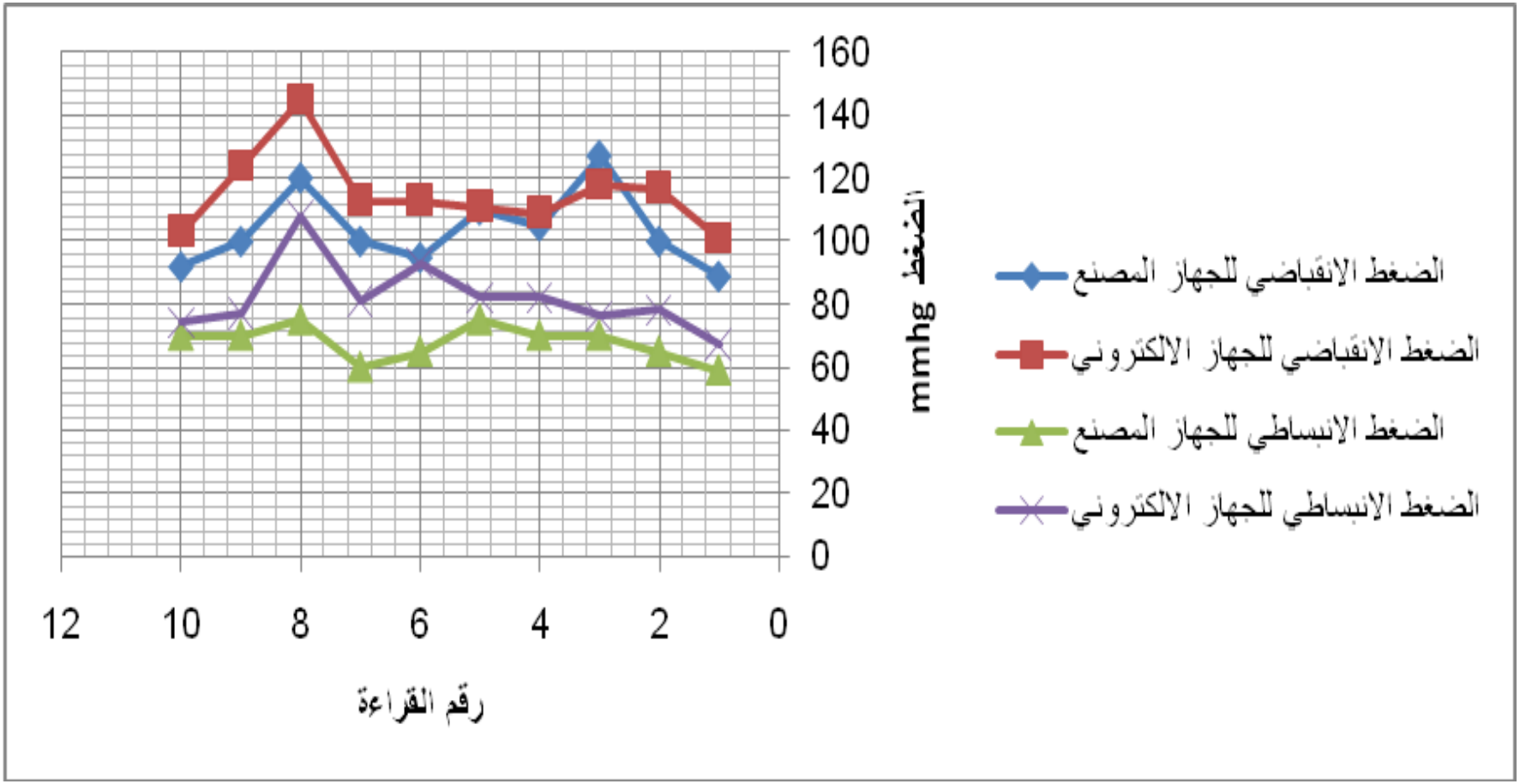
	الجهازالمصنع		الجهاز الالكتروني					
رقم القراءة	الضغط الانقباضي mmhg	الضغط الانبساطي mmhg	الضغط الانقباضي mmhg	الضغط الانبساطي mmhg	التغير في الضغط الانقباضي mmhg	نسبة التغير في الضغط الانقباضي %	التغير في الضغط الانبساطي mmhg	نسبة التغير في الضغطالانبساطي %
1	89	59	101	67	-12	-11.9	-8	-11.9
2	100	65	117	78	-17	-14.5	-13	-16.7
3	127	70	118	76	9	7.6	-6	-7.9
4	105	70	109	82	-4	-3.7	-12	-14.6
5	110	75	111	82	-1	-0.9	-7	-8.5
6	95	65	113	93	-18	-15.9	-28	-30.1
7	100	60	113	81	-13	-11.5	-21	-25.9
8	120	75	145	108	-25	-17.2	-33	-30.6
9	100	70	124	77	-24	-19.4	-7	-9.1
10	92	70	103	74	-11	-10.7	-4	-5.4
11	90	65	114	74	-24	-21.1	-9	-12.2
12	105	70	117	79	-12	-10.3	-9	-11.4
13	90	55	103	74	-13	-12.6	-19	-25.7
14	100	80	121	92	-21	-17.4	-12	-13.0
15	128	76	128	92	0	0.0	-16	-17.4
16	120	70	143	96	-23	-16.1	-26	-27.1
17	115	70	117	79	-2	-1.7	-9	-11.4
18	110	50	116	82	-6	-5.2	-32	-39.0
19	100	50	119	96	-19	-16.0	-46	-47.9
20	100	55	103	79	-3	-2.9	-24	-30.4

جدول (١.٤)

الانحراف المعياري للضغط الانبساطي	11.3
الانحراف المعياري للضغط الانقباضي	9.6

جدول (٢.٤)

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر



شكل ١.٤ مقارنة بين الجهاز الزئبقي المصنع معمليا وجهاز الكتروني مصنع بواسطة شركة مصنعة

٢. مقارنة بين الجهاز الزئبقي المصنع معمليا وجهاز بوردون مصنع بواسطة شركة مصنعة

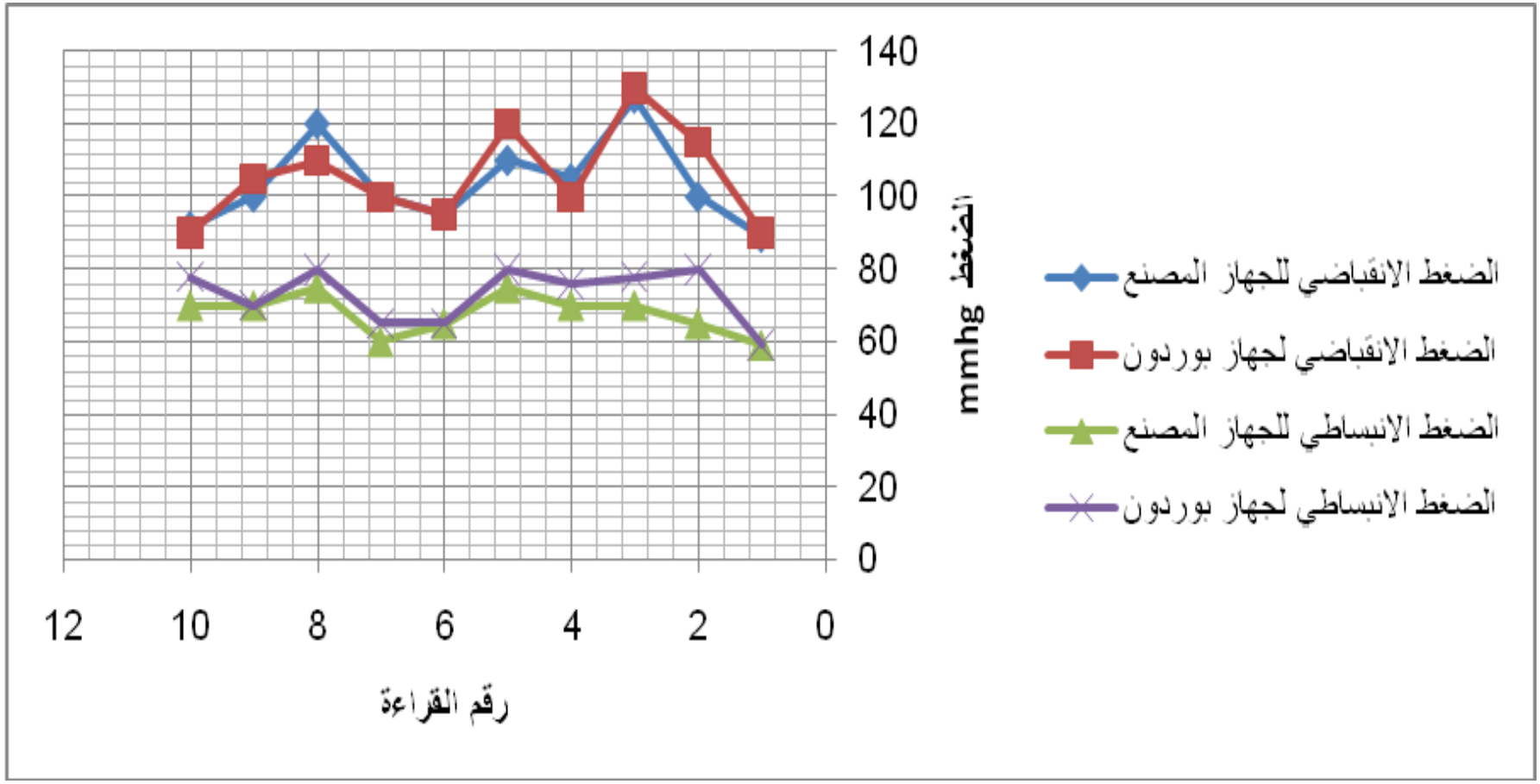
القراءات

	الجهازالمصنع		جهاز بوردون				
رقم القراءة	الضغط الانقباضي mmhg	الضغط الانبساطي mmhg	الضغط الانقباضي mmhg	الضغط الانبساطي mmhg	التغير في الضغط الانقباضي mmhg	نسبة التغير في الضغط الانقباضي %	التغير في الضغط الانبساطي mmhg	نسبة التغير في الضغطالانبساطي
1	89	59	90	59	-1	-1.1	0	0.0
2	100	65	115	80	-15	-13.0	-15	-18.8
3	127	70	130	78	-3	-2.3	-8	-10.3
4	105	70	100	76	5	5.0	-6	-7.9
5	110	75	120	80	-10	-8.3	-5	-6.3
6	95	65	95	65	0	0.0	0	0.0
7	100	60	100	65	0	0.0	-5	-7.7
8	120	75	110	80	10	9.1	-5	-6.3
9	100	70	105	70	-5	-4.8	0	0.0
10	92	70	90	78	2	2.2	-8	-10.3
11	90	65	110	70	-20	-18.2	-5	-7.1
12	105	70	110	80	-5	-4.5	-10	-12.5
13	90	55	120	80	-30	-25.0	-25	-31.3
14	100	80	110	95	-10	-9.1	-15	-15.8
15	128	76	132	70	-4	-3.0	6	8.6
16	120	70	140	80	-20	-14.3	-10	-12.5
17	115	70	120	60	-5	-4.2	10	16.7
18	110	50	110	50	0	0.0	0	0.0
19	100	50	112	70	-12	-10.7	-20	-28.6
20	100	55	100	60	0	0.0	-5	-8.3

جدول (٣.٤)

الانحراف المعياري للضغط الانبساطي	9.6
الانحراف المعياري للضغط الانقباضي	8.3

جدول (٤.٤)



شكل ٢.٤ مقارنة بين الجهاز الزئبقي المصنع معمليا وجهاز بوردون مصنع بواسطة شركة مصنعة

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

٣. مقارنة بين الجهاز الزئبقي القياسي وجهاز الكتروني مصنع بواسطة شركة مصنعة

القراءات

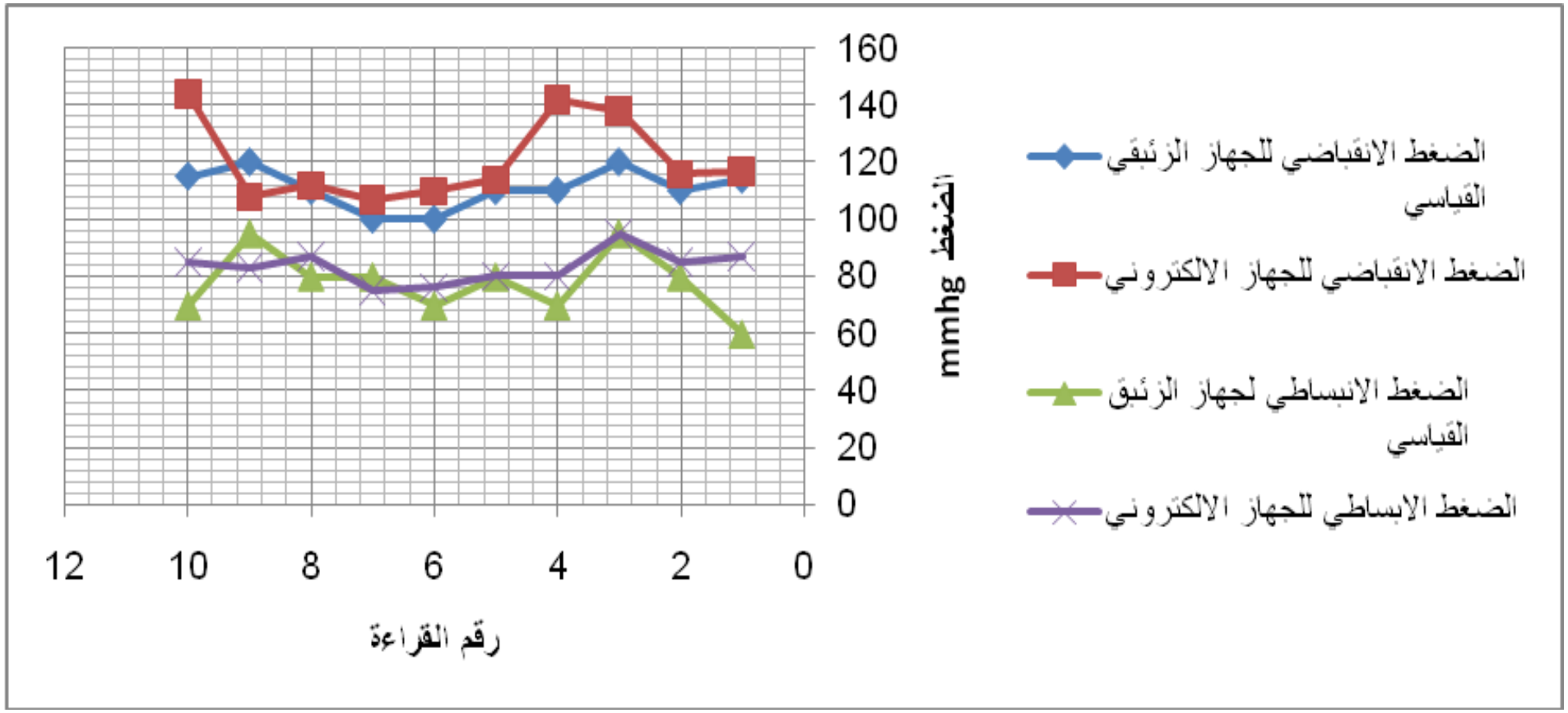
	الجهازالزئبقي القياسي		الجهاز الالكتروني				
رقم القراءة	الضغط الانقباضي Mmhg	الضغط الانبساطي mmhg	الضغط الانقباضي mmhg	الضغط الانبساطي mmhg	التغير في الضغط الانقباضي mmhg	نسبة التغير في الضغط الانقباضي %	التغير في الضغط الانبساطي mmhg	نسبة التغير في الضغطالانبساطي
1	114	60	117	87	-3	-2.6	-27	-31.0
2	110	80	116	85	-6	-5.2	-5	-5.9
3	120	95	138	95	-18	-13.0	0	0.0
4	110	70	142	80	-32	-22.5	-10	-12.5
5	110	80	114	80	-4	-3.5	0	0.0
6	100	70	110	76	-10	-9.1	-6	-7.9
7	100	80	107	75	-7	-6.5	5	6.7
8	110	80	112	87	-2	-1.8	-7	-8.0
9	120	95	108	83	12	11.1	12	14.5
10	115	70	144	85	-29	-20.1	-15	-17.6
11	130	75	127	94	3	2.4	-19	-20.2
12	100	80	105	70	-5	-4.8	10	14.3
13	115	80	125	88	-10	-8.0	-8	-9.1
14	110	80	111	84	-1	-0.9	-4	-4.8
15	100	80	106	70	-6	-5.7	10	14.3
16	110	75	109	82	1	0.9	-7	-8.5
17	130	95	140	62	-10	-7.1	33	53.2
18	130	75	138	88	-8	-5.8	-13	-14.8
19	110	55	110	60	0	0.0	-5	-8.3
20	125	85	114	85	11	9.6	0	0.0

جدول (٥.٤)

الانحراف المعياري للضغط الانبساطي	12.9
الانحراف المعياري للضغط الانقباضي	10.8

جدول (٦.٤)

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر



شكل ٣.٤ مقارنة بين الجهاز الزئبقي القياسي وجهاز الكتروني مصنع بواسطة شركة مصنعة

٤. مقارنة بين الجهاز الزئبقي القياسي وجهاز بوردون مصنع بواسطة شركة مصنعة

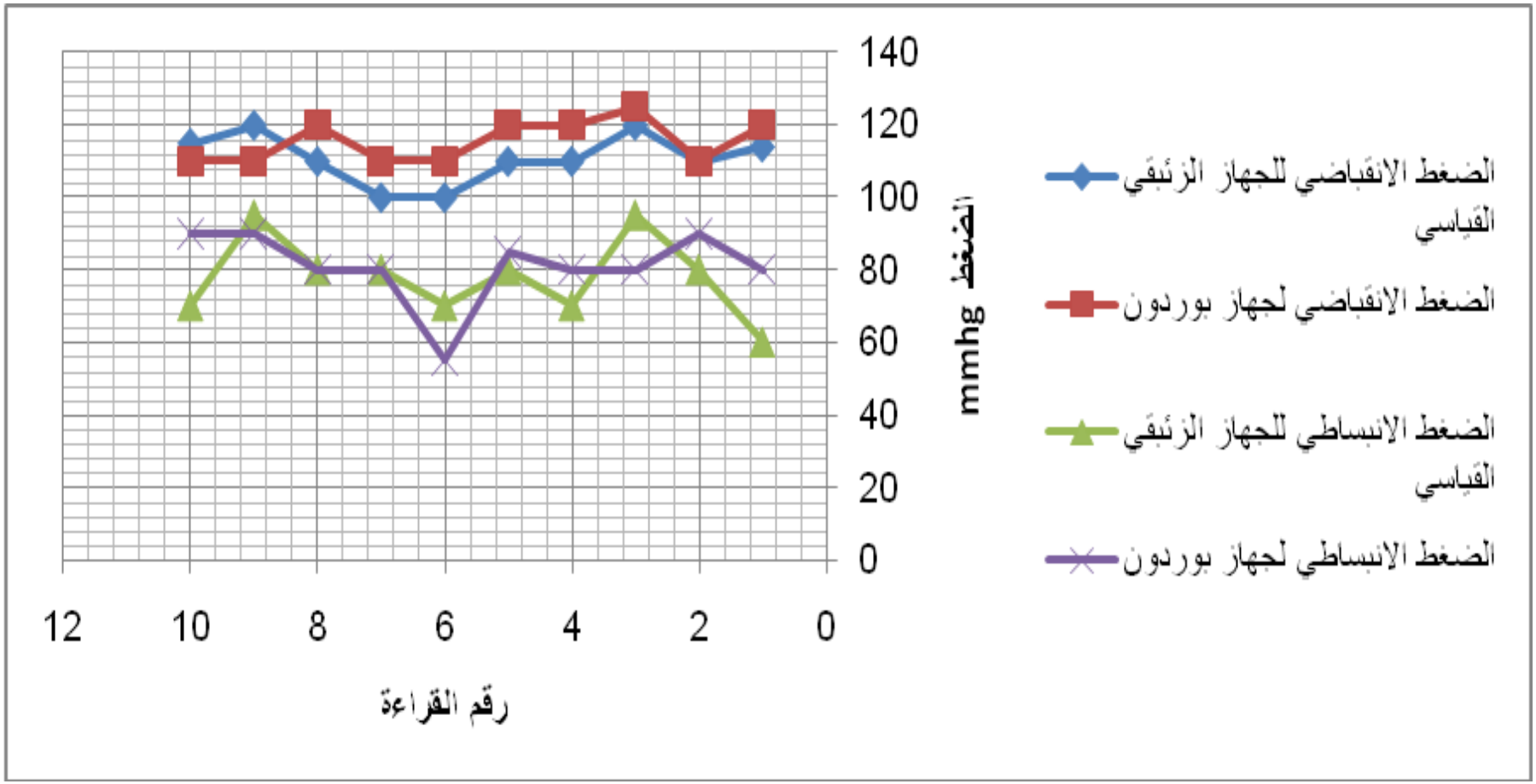
القراءات

	الجهاز الزئبقي		جهاز بوردون				
رقم القراءة	الضغط الانقباضي mmhg	الضغط الانبساطي mmhg	الضغط الانقباضي mmhg	الضغط الانبساطي mmhg	التغير في الضغط الانقباضي Mmhg	نسبة التغير في الضغط الانقباضي %	التغير في الضغط الانبساطي mmhg	نسبة التغير في الضغط الانبساطي
1	114	60	120	80	-6	-5.0	-20	-25.0
2	110	80	110	90	0	0.0	-10	-11.1
3	120	95	125	80	-5	-4.0	15	18.8
4	110	70	120	80	-10	-8.3	-10	-12.5
5	110	80	120	85	-10	-8.3	-5	-5.9
6	100	70	110	55	-10	-9.1	15	27.3
7	100	80	110	80	-10	-9.1	0	0.0
8	110	80	120	80	-10	-8.3	0	0.0
9	120	95	110	90	10	9.1	5	5.6
10	115	70	110	90	5	4.5	-20	-22.2
11	130	75	140	80	-10	-7.1	-5	-6.3
12	100	80	110	85	-10	-9.1	-5	-5.9
13	115	80	110	95	5	4.5	-15	-15.8
14	110	80	115	80	-5	-4.3	0	0.0
15	100	80	110	85	-10	-9.1	-5	-5.9
16	110	75	105	80	5	4.8	-5	-6.3
17	130	95	130	80	0	0.0	15	18.8
18	130	75	145	78	-15	-10.3	-3	-3.8
19	110	55	100	60	10	10.0	-5	-8.3
20	125	85	130	90	-5	-3.8	-5	-5.6

جدول (٧.٤)

الانحراف المعياري للضغط الانبساطي	7.5
الانحراف المعياري للضغط الانقباضي	10.0

جدول (٨.٤)



شكل ٤.٤ مقارنة بين الجهاز الزئبقي القياسي وجهاز بوردون مصنع بواسطة شركة مصنعة

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

٥. مقارنة بين الجهاز الزئبقي المصنع معمليا وجهاز زئبقي معاير بواسطة شركة مصنعة

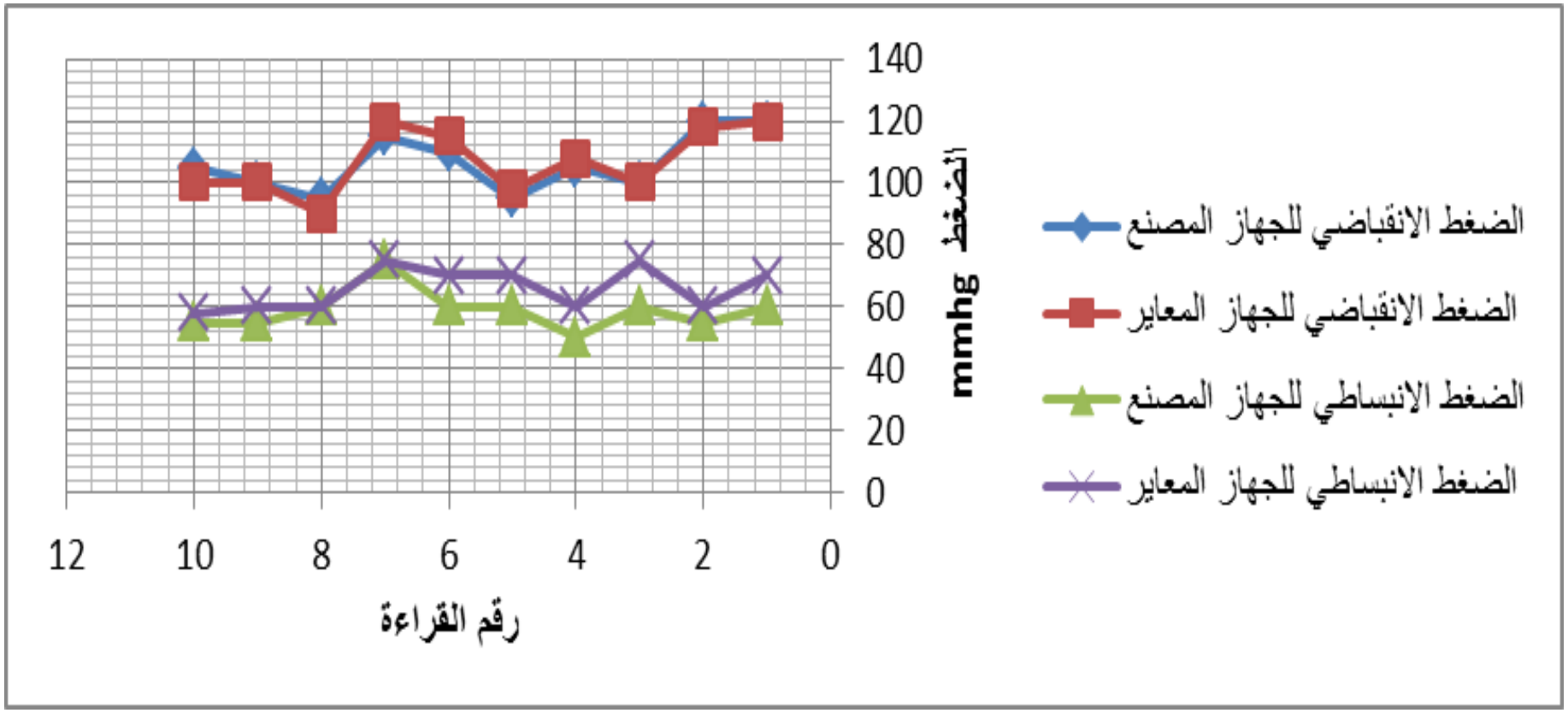
القراءات

رقم القراءة	الضغط الانقباضي Mmhg	الضغط الانبساطي Mmhg	الضغط الانقباضي Mmhg	الضغط الانبساطي Mmhg	التغير في الضغط الانقباضي Mmhg	نسبة التغير في الضغط الانقباضي %	التغير في الضغط الانبساطي mmhg	نسبة التغير في الضغطالانبساطي
1	120	60	120	70	0	0.0	-10	-14.3
2	120	55	118	60	2	1.7	-5	-8.3
3	100	60	100	75	0	0.0	-15	-20.0
4	105	50	108	60	-3	-2.8	-10	-16.7
5	95	60	98	70	-3	-3.1	-10	-14.3
6	110	60	115	70	-5	-4.3	-10	-14.3
7	115	75	120	75	-5	-4.2	0	0.0
8	95	60	90	60	5	5.6	0	0.0
9	100	55	100	60	0	0.0	-5	-8.3
10	105	55	100	58	5	5.0	-3	-5.2

جدول (٩.٤)

الانحراف المعياري للضغط الانبساطي	5.0
الانحراف المعياري للضغط الانقباضي	3.7

جدول (١٠.٤)



شكل ٥.٤ مقارنة بين الجهاز الزئبقي المصنع معمليا وجهاز زئبقي معاير بواسطة شركة مصنعة

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

الخلاصة

وجد أن الجهاز المصنع معملياً ذو دقة أقرب إلى الجهاز القياسي المصنع بواسطة شركة مصنعة ووجد أن الإنحراف المعياري يبلغ ٥ مليمتر زئبق للضغط الإنبساطي و ٣.٧ ملميتر زئبق للضغط الإنقباضي ووجد أن الإنحراف في هذه النسبة غير مؤثر على تحديد الطبيب لإصابة الشخص المراد قياس ضغطه بمرض إرتفاع ضغط الدم من عدمه.

كما وجدت أن تكلفة الجهاز المصنع معملياً رخيصة نسبياً مقارنةً بالجهاز الزئبقي المصنع بواسطة شركة مصنعة.

أما مقارنةً بالجهاز الإلكتروني وجهاز بوردون فإن التكلفة متقاربة ولكن الأجهزة الإلكترونية وجهاز بوردون تعطي قراءات غير دقيقة.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

التوصيات

يوصى بإنشاء مصنع صغير لأجهزة قياس الضغط وبذلك نعمل على توفير كمية من العملات الصعبة التي تصرف في إستيراد الأجهزة.

بالرغم من بساطة مكونات أجهزة قياس الضغط إلا أن الزئبق المستخدم فيها يتم إستيراده.

فكما يتم التنقيب حالياً عن الذهب يجب التنقيب عن الزئبق.

المراجع

١. ميكانيكا الموائع -ب. محمد هاشم صديق – جامعة الخرطوم.

2. Fluid Mechanics - Fourth Edition - Frank M. White.
3. Mechanics of Fluids - Eighth edition - Bernard Massey.
4. https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%B6%D8%BA%D8%B7_%D8%A7%D9%84%D8%AF%D9%85.