دراسة معدل الجريان في الأنابيب الشعرية وحساب معامل اللزوجة للماء بدرجات حرارة مختلفة

صبا عبد الزهرة عبيد الفريشي — مركز بحوث البيئة المحلية -جامعة بابل

حكمت عدنان جواد — كلية العلوم-جامعة بابل

خلاصة البحث

تم في هذا البحث دراسة خاصية الجريان او الانتشار من خلال تعريف المائع الذي يعتبر مادة لاتستطيع أن تتحمل جهد قصي، أما اللزوجة التي هي مقاومة يبديها المائع ضد أي تشوه قصي بين أجزاءه.

ودراسة معدل الجريان في الأنابيب الشعرية وحساب معامل اللزوجة للماء بدرجات حرارة مختلفة ومن ثم مقارنة النتائج العملية مع القيم النظرية لمعامل اللزوجة ووجدنا تقارب شديد في قيم اللزوجة بين النتائج المحسوبة عمليا و القيم المتحصلة من الموقع (www.EngineeringTool Box) .

كما وجد أيضا إن معامل اللزوجة للماء يقل بزيادة درجة الحرارة للماء حيث يتغير من أعلى قيمة له [(poise) 0.0082] عند درجات حرارة تتراوح بين (c° 20-30) إلى اقل قيمه له [(poise) 0.0031] عند درجات حرارة تتراوح بين (c° 80-90) حيث تم حساب اللزوجة بتغير ارتفاع الماء المسبب للضغط الذي يؤدي إلى انسياب الماء خلال الأنبوب الشعري وبالتالي اخذ الميل لكل القراءات عند درجة حرارة ثابتة وهكذا بالنسبة لبقية درجات الحرارة .ويهدف البحث إلى إيجاد معدل الجريان في الأنابيب الشعرية وكذلك حساب معامل اللزوجة للماء بدرجات حرارة مختلفة.

Abstract

In this research study the flow rate in a capillary tube and calculate the coefficient of viscosity of water at different temperatures and then comparing the results to the process with the values of the theoretical coefficient of viscosity and found very close values of viscosity between the calculated results practically and values obtained from the Site (Tool Boxwww.Engineering).Also found that the coefficient of viscosity of water decreases with increase in temperature of the water, where changes from its highest values [0.0082(poise)] at temperatures ranging from (c^o20 – 30) to its lowest value [0,0031(poise)] at temperatures ranging from between (c^o80 – 90) where the viscosity change was calculated rising water causing the pressure that leads to the flow of water through a capillary tube and hence the tendency for each to take readings at constant temperature and so on for the rest of temperatures.

١-١ المقدمة

إذا غمرنا طرف أنبوبة زجاجية ذات قطر داخلي صغير رأسيا في سائل فإننا نلاحظ تغير ارتفاع السائل في الأنبوبة الشعرية ويعتمد ذلك على زاوية التماس بين السائل والزجاج ،فإذا كانت زاوية التماس حادة كما في حالة الماء في الزجاج (حيث أنها في حالة الزجاج النظيف والماء النقي يجب إن تساوي صفر) فان الماء يرتفع في الأنبوبة الشعرية إما إذا كانت الزاوية اكبر من (^{0} 90) كما في حالة الزئبق والزجاج فان السائل ينخفض في الأنبوبة الشعرية(Collins,٢٠٠٤). يمكن تفسير ارتفاع السائل في الأنبوبة الشعرية من خلال غمر طرف أنبوبة شعرية في سائل مثل الماء حيث يتقعر سطح الماء المواجه للهواء ،ونتيجة لذلك يكون الضغط على الجانب المواجه للهواء عند النقطة M اكبر من الضغط على الجانب الأخر عند النقطة sssN كما في الشكل(1) ،بمقدار يساوي تقريبا :

$$P = \cos\theta / r \qquad (1)$$

حيث إن :

θ:زاوية التماس

r:نصف قطر الأنبوبة

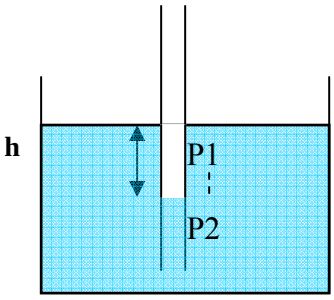
ولذلك يرتفع السائل في الأنبوبة إلى ارتفاع h حتى يعادل الفرق في الضغط عند النقطتين N,M أي أن:

$$P=2y\cos\theta/r=h\rho g \qquad (2)$$

حيث إن:ρ:الكثافة ، g: التعجيل

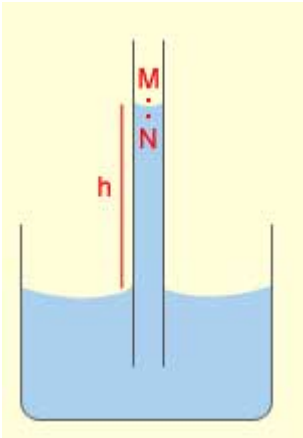
y: معامل التوتر السطحي

إما انخفاض السائل في الأنابيب الشعرية فيمكن تفسيره عند غمر طرف أنبوب شعري رأسيا في السائل مثل الزئبق فسوف يتحدب سطح السائل إلى الخارج ونتيجة لذلك يكون الضغط عند النقطة (P_2) التي تقع على جانب سطح السائل وفي باطنه اكبر من الضغط عند النقطة (P_1) التي تقع على الجانب الأخر للسطح في الهواء ،أي إن الضغط أسفل السطح للسائل يكون اكبر من الضغط أعلاه ، وبذلك يكون مستحيلا إن يظل سطح السائل كما هو لذلك ينخفض سطح السائل داخل الأنبوبة بمقدار(h)لتعادل الضغط على جانبي سطح السائل، كما في الشكل(2) (Collins,٢٠٠٤).



الشكل (٢) انخفاض السائل في الأنابيب الشعرية

أما العوامل التي يعتمد عليها ارتفاع أو انخفاض السوائل في الأنابيب الشعرية فهي: (Collins,٢٠٠٤).



الشكل (1) ارتفاع السائل في الأنابيب الشعرية(Collins,٢٠٠٤)

١. نصف قطر الأنبوبة الشعرية حيث يزداد ارتفاع السائل كلما نقص نصف قطر الأنبوبة.
٢. زاوية التماس حيث:

أ) يرتفع السائل في الأنبوبة عن سطحه الخاص خارجها إذا كانت زاوية التماس بين السائل و مادة الأنبوبة حادة و بذلك يكون جيب تمامها أي المقدار cos كمية موجبة.

ب) ينخفض السائل في الأنبوبة عن سطحه إذا كانت زاوية التماس منفرجة حيث أن جيب تمامها يكون سالبا.

٣. كثافة السائل حيث يزداد الارتفاع أو الانخفاض كلما قلت الكثافة و العكس صحيح .

و يعرف المائع Fluid بصورة عامة بأنه كل مادة لها خاصية الجريان أو الانتشار ،وان المائع مادة لا تستطيع أن تتحمل جهدا قصيا Shear Stress وذلك لأنه عندما يسلط عليها جهد قصي (مهما كان صغيرا) فان المائع يتشوه بصورة مستمرة وبعبارة أخرى يبدأ بالجريان Flow أما الجسم الصلب فانه يتشوه إلى حد معين ثم يتوقف عن ذلك. إن المائع Fluid يتغير شكله وينحرفDeforms بأقل قدر من قوى القص Shear ويستمر بالانحراف Deformation مادامت قوة القص واقعة عليه . ولهذا فان أي مائع في حالة ركود لا يمكن إن يكون فيه قوة قص ويتبع ذلك إن القوة الواقعة على أي سطح حقيقي أو وهمي في المائع في حالة ركود لابد إن تكون متعامدة لذلك السطح ، لأنها لو لم تكن متعامدة له لكانت لها محصلتان أحداهما متعامدة والأخرى موازية له (Scheidegger، ٢٠٠٣). وعندئذ تسبب المحصلة الموازية قصا ينتج عنه حركة تتنافى مع حالة الركود المفترضة ومن مميزات المائع أيضا قابليته لنقل الضغط الواقع عليه إلى جميع نقاطه وفي جميع الاتجاهات وبالتساوي . ومن مميزات المائع المحصور انه يقبل الانضغاطيه Compressibility ولكنه لا يقبل الشد Tension إلا بقدر ضئيل جدا (الشماع،١٩٩٠).

وتعرف اللزوجة Viscosity بأنها المقاومة التي يبديها المائع ضد أي تشوه قصي بين أجزاءه وحسن قانون نيوتن للزوجة فان الجهد القصي يتناسب تناسبا طرديا مع معدل الانفعال القصي وحسب المعادلة:- (الملائكة،١٩٨٢).

$$\tau=\mu\, \delta u/\delta y \qquad (٣)$$

ويدعى ثابت التناسب μ بمعامل اللزوجة الديناميكي أو مجرد معامل اللزوجةViscosity Coefficient ووحداته هي kg/ms أو Ns/m^2 والتي يمكن استخراجها من المعادلة (٣) بتعويض وحدات الجهد والسرعة والمسافة فيها كما يلي :-

$$(N/m)^2 = \mu(m/s)/(m)$$

$$\mu = Ns/m^2$$

وتوجد وحدات أخرى شائعة الاستعمال لمعامل اللزوجة وهي (p:poise) وتعادل (10) من وحدات S.I ومعنى ذلك إن :-

$$1\ Ns/m^2 = 10\ P$$

اللزوجة الحركية لسائل

هي اللزوجة التي تبين مقدار مقاومة السائل للجريان (السيلان) عند حركته وعلاقة هذه المقاومة بدرجة حرارة السائل. فكلما زادت الحرارة، تقل اللزوجة الحركية ويصبح السائل أكثر ميوعة.و من جهة أخرى، كلما زادت سرعة التدفق ارتفعت اللزوجة، أي أن مقاومة السائل للسير بالحركة تزداد مع ازدياد الضغط.نفترض وجود لوحين متوازيين بينهما مسافة x ومساحة كل منهما A، ونفترض وجود سائل يملأ

المكان بين اللوحين(الملائكة ،١٩٨٢). فإذا بدأنا تحريك اللوح ٢ بسرعة ثابتة v فتتحرك طبقة السائل الملاصقة للوح ٢ أيضا بالسرعة v. وبما أن اللوح ١ ثابت لا يتحرك فإن طبقة السائل الملاصقة له تبقى لا تتحرك. أي أن طبقات السائل بين اللوحين ستتحرك بسرعات متناسبة طرديا مع المسافة بين اللوحين (أنظر الشكل، حيث يتناسب كل سهم مع سرعته) القوة F التي تحرك اللوح ٢ تتناسب تناسبا طرديا مه مساحة اللوح A، كما تتناسب تناسبا طرديا مع سرعة اللوح v، وتتناسب تناسبا عكسيا مع المسافة x بين اللوحين، أي أن : (الشماع،١٩٩٠).

$$F \sim \frac{Av}{x}$$

ويمكن تحويل العلاقة إلى معادلة بوساطة ثابت التناسب η:

$$F = \eta \frac{Av}{x}.$$

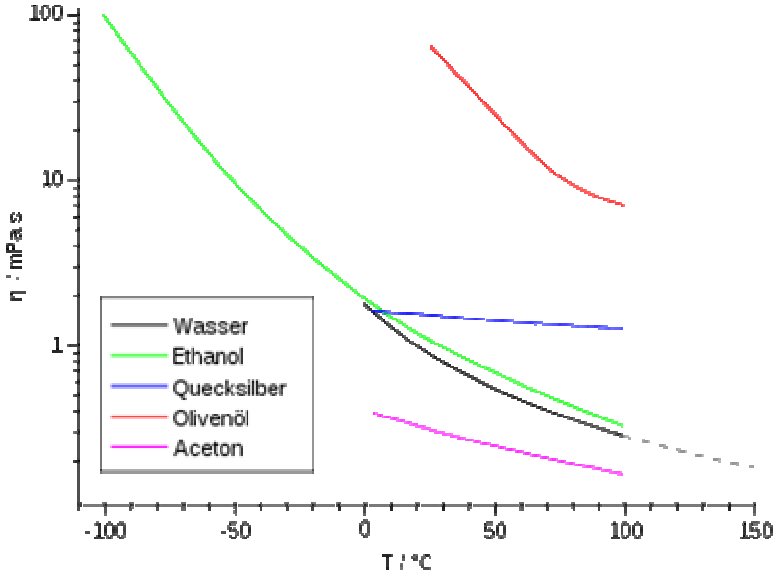
ويسمى ثابت التناسب η اللازوجة الحركية وأحيانا يقال لها اللزوجة.

وبالنسبة إلى الوحدة نجد أن:

$$1\mathrm{N} = \eta \cdot \left(\frac{\mathrm{m^2\,m}}{\mathrm{m\,s}}\right) \Rightarrow \eta = \frac{\mathrm{N\,s}}{\mathrm{m^2}}. \qquad (٣)$$

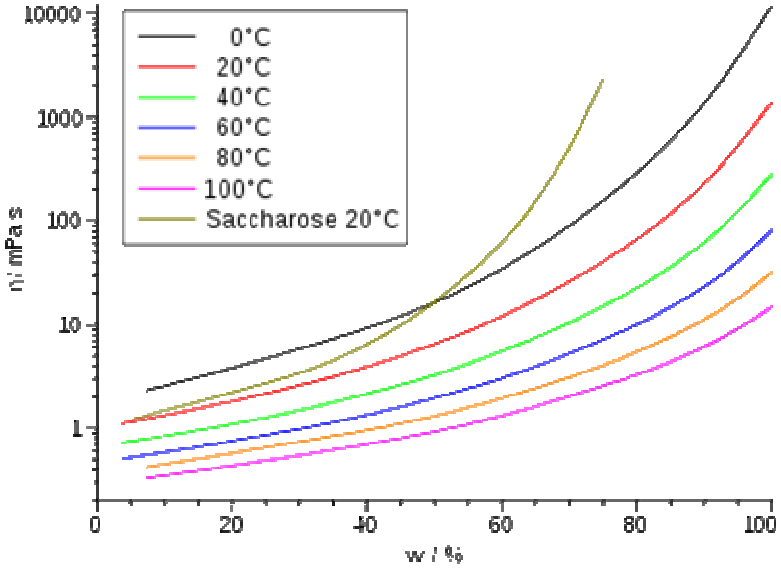
وعندما نكون η لا تعتمد على السرعة v يسمى السائل(سائل نيوتوني) إشارة إلى نيوتن. وبالنسبة لهذا السائل تتناسب سرعة كل طبقة سائل بين اللوحين تناسبا طرديا. أما إذا كانت η تتغير بتغير السرعة v (دالة للسرعة) فيسمى السائل سائل(لا نيوتوني).

وكما نلاحظ من الشكل (٣) اعتماد اللازوجة لبعض السوائل على درجة الحرارة حيث يمثل المنحني الأسود ماء والأخضر ايثانول، أزرق زئبق، أحمر زيت زيتون، والبنفسجي أسيتون. ويبين الرسم تغير اللازوجة بين درجة حرارة -١٠٠ إلى ١٥٠ درجة مئوية. (Collins,٢٠٠٤)



شكل (٣) يوضح علاقة لزوجة السوائل مع درجة الحرارة

وكذلك يوضح المخطط التالي تغير لزوجة محلول الجليسرول بتغير نسبة تركيزه في المحلول عند درجات حرارة مختلفة.حيث يمثل المنحني الرمادي اللون يبين مخلوط الجليسرول والسكروز عند درجة ٢٠ مئوية



الشكل (٤) علاقة قيم لزوجة الكليسرول مع تركيز المحلول عند درجات الحرارة

لزوجة الغازات:-

ويمكن ملاحظة جريان الغازات تحت المجهر بسبب اللزوجة . حيث أن لزوجة الغازات لا تتعلق بالضغط بل بمعدل الطول ألبعدي لجزيئات الغاز. (Scheidegger ،٢٠٠٣)

الغاز	C [K]	T_0 [K]	μ_0 [10^{-6} Pa s]
هواء	120	291.15	18.27
نيتروجين	111	300.55	17.81
أوكسجين	127	292.25	20.18
ثاني أكسيد الكربون	240	293.15	14.8
أول أكسيد الكربون	118	288.15	17.2
آمونيا	370	293.15	9.82
ثاني أكسيد الكبريت	416	293.65	12.54
هيليوم	79.4	273	19

جدول (١) يبين قيم لزوجة الغازات بدرجات حرارة مختلفة

ان لزوجة الغازات تعتمد على درجة الحرارة حيث صاغ سترلاند علاقة يمكن بواسطتها حساب لزوجة الغاز عند درجات الحرارة المختلفة (باعتبار أن الغاز غازا مثالياً، والعلاقة هي :- (Andrade,etc,1999)

$$\mu = \mu_0 \frac{T_0 + C}{T + C} \left(\frac{T}{T_0}\right)^{3/2} \qquad (٤)$$

حيث:

μ الزوجة الحركية بوحدة باسكال. ثانية عند درجة الحرارة T،

μ_0 اللزوجة المرجعية باسكال. ثانية عند درجة الحرارة الاصلية T_0 ،

T درجة الحرارة بالكلفن،

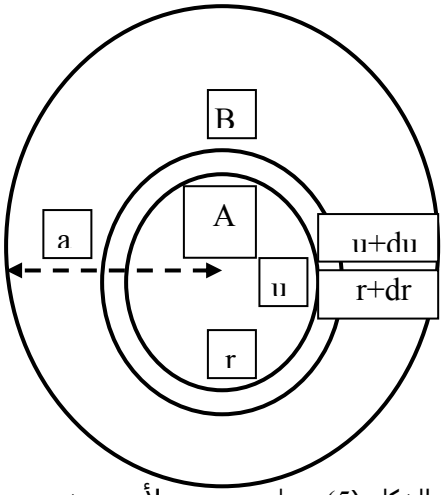
T_0 درجة الحرارة الاصلية بالكلفن،

C ثابت سترلاند للغاز.

وتنطبق تلك المعادلة على الغازات عند درجة حرارة T بين(٠ كلفن و ٥٥٥ كلفن) عند ضغط أقل من ٣,٤٥ ميجا باسكال (مليون باسكال)، ويبلغ الخطأ الناشئ عـن التقريـب ١٠% .(Andrade,etc,1999) ،(ابـو الجرايش،٢٠٠٨) .

٢-١ الجزء النظري:

سرعة جريان السائل في الأنابيب الضيقة تتفاوت من (0) إلى القيمة العظمى. حيث ان في الشكل (٥) سطحين A,B يشكلان قشرة اسطوانة رقيقة بين إنصاف الأقطار(r) و(r +dr) وسرعات جريان تكون (u) و(u+du) على التوالي.(Andrade,etc,1999) ،(العمري،٢٠٠٢)



الشكل (5) مقطع عرضي لأنبوب شعري

ثم من تعريف معامل الجريان η ،عائق اللزوجة بين السطحين يعطى بواسطة :-

أ- مساحة السطح η ، ب- منحنى السرعة

إذا" عائق اللزوجة F في A على طول الاسطوانة ℓ هو :-

$$F = 2\pi r \ell \eta \, du/dr \qquad (٥)$$

وعائق اللزوجة F+dF في B :-

$$F+dF = 2\pi r \ell \eta \, du/dr + d/dr(2\pi r \ell \eta \, du/dr)\, dr \qquad (٦)$$

حيث عائق اللزوجة في الاسطوانة الرقيقة يميل لابقاء السائل في السكون .

$$= dF = d/dr\,(2\pi r \ell \eta \, du/dr)\, dr \qquad (٧)$$

وعندما الحركة ثابتة تكتسب هذه القوة تصادم بواسطة دفع هيدروستاتيكي على اخـتلاف الـضغط P فـي نهايات الاسطوانة .

$$2\pi r dr\, p = -\, dF = d/dr(2\pi r \ell\eta\, du/dr)\, dr \qquad (٨)$$

or

$$-\, d/dr\,(2\pi r \ell\eta\, d/du) = 2\,\pi\, rp \qquad (٩)$$

بالتكامل :-

$$-2\pi r \ell\eta\, du/dr = 2\pi \frac{r^2}{2}\, p + A \quad \text{(Constant Integration)} \qquad (10)$$

$$\text{But} \quad B = -\, p \quad / a^2 \quad \text{Since} \quad u = 0 \quad \text{When} \quad r = a \qquad (11)$$

$$u = p/4\ell\eta\,(\ a^2\ -\ r^2) \qquad (١٢)$$

فكمية الجريان بالثانية الواحدة أسفل قشرة الاسطوانة الرقيقة :-

$$= u2\pi r\, dr = p\pi/2\ell\eta(\quad -\quad)\, r\, dr \qquad (١٣)$$

فقيمة Q (تمثل معدل الجريان في الانابيب الشعرية)،المتدفقة في الثانية هي :-

$$Q = p\pi/2\ell\eta\ (\quad r\ -\quad)\, dr \qquad (14)$$

$$\int_0^a \qquad a^2 \qquad r^3$$

$$Q = P\pi/2\ell\eta\,[\ a^2\ \ r^2\ \ /2 - r^4\ /4] \qquad (15)$$

$$Q = P\pi\ a^2/8\ell\eta \qquad (16)$$

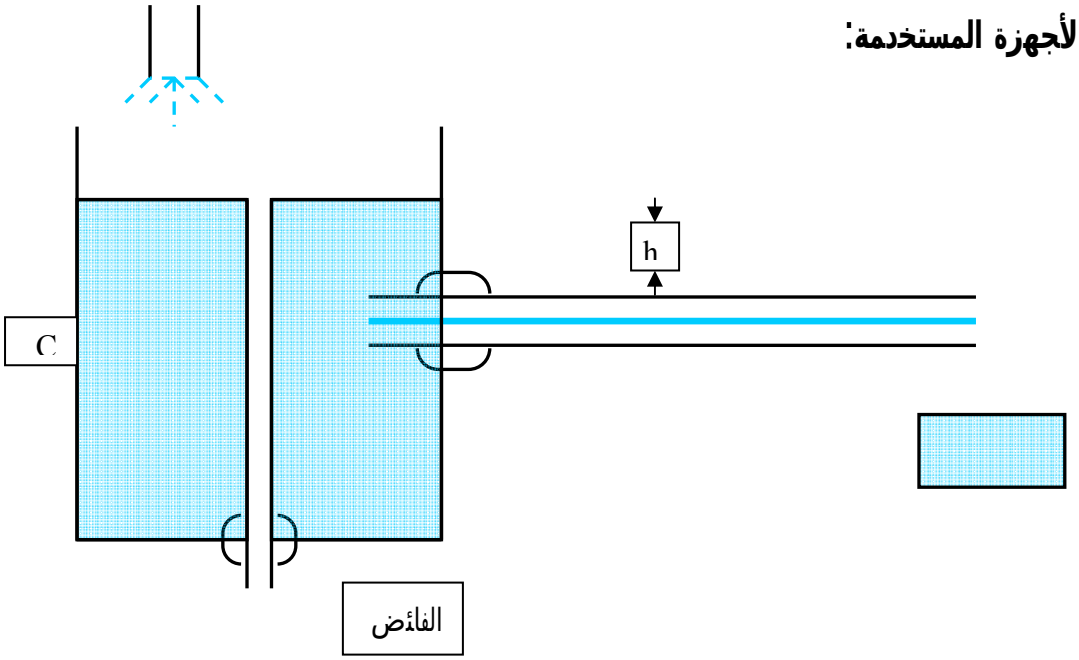
٢-٣ النتائج والمناقشة :- (Engineering Tool Box)

إن الجدول الأتي يوضح قيم التغير في اللزوجة مع درجة الحرارة للماء حيث يلاحظ انخفاض قيم اللزوجـة مع ارتفاع درجة الحرارة.

Temperature		Absolute - Dynamic - Viscosity *(cp)*
(^oF)	*(^oC)*	
32	0	1.794
40	4.4	1.546
50	10.0	1.310
60	15.6	1.129
70	21.1	0.982
80	26.7	0.862
90	32.2	0.764
100	37.8	0.682
120	48.9	0.559
140	60.0	0.470
160	71.1	0.401
180	82.2	0.347
200	93.3	0.305

جدول (٢) يوضح تغير قيم اللازوجة للماء مع تغير درجة الحرارة (Engineering Tool Box)

٣-١ الأجهزة المستخدمة:



الشكل (٥) يوضح جهاز لحساب معامل اللزوجة بواسطة الجريان في الأنابيب الشعرية

يوضح الشكل (٥) والذي يتكون من إناء ثابت (C) ، وأنبوب شعري طويل قطره اقل من (3 mm)، بيكر ، ساعة توقيت ، محرار .

نقوم بأخذ كمية معينة من الماء وتوضع في بيكر ليتم تسخينها لدرجة حرارة محددة ثم تؤخذ هذه الكمية وتوضع في الجزء C من الجهاز الموضح في الشكل (٥) ليتم من خلالها حساب معدل الجريان ومعامل اللزوجة لهذه الكمية عند هذه الدرجة الحرارية و الخطوات التالية توضح الجزء العملي من هذا البحث بشكل مفصل :-

١. قمنا بتسخين الماء إلى درجة حرارة (30 c°) "وقد تم اخذ درجة الحرارة ضمن المدى (20- c°) 30وذلك لمراعاة الانخفاض في درجة الحرارة أثناء إجراء التجربة كما موضح في الجدول (٣) " وبعد ذلك نقوم بأخذ الارتفاع (h) ضمن القيم (5,10,15 cm) وذلك من خلال التحكم بارتفاع أنبوب الفائض كما في الشكل (٥).

٢. نقوم بحساب الزمن لكل (10 ml) من الماء في البيكر الموضح في الجزء B من الشكل (٥) ولكل ارتفاع من الارتفاعات (5,10,15 cm) كما موضح في الجدول (٣)

٣. نقوم باستخراج الـ (Slope) بين V(ml) و t(sec) لكل ارتفاع حيث ان الـ (Slope) يساوي معدل الجريان .

٤. نقوم باستخراج معامل اللزوجة μ(poise) لدرجة الحرارة هذه وذلك من خلال تطبيق القانون التالي:-

$$\mu = g\rho h\pi a^4 / 8\ell Q \qquad (5)$$

حيث إن :

μ : معامل اللزوجة .

g: التعجيل الأرضي .

ρ: الكثافة الماء ($1\ gm/cm^3$) .

h: ثابت بلانك .

a: نصف قطر الأنبوب الشعري .

ℓ: طول الأنبوب الشعري .

Q: معدل الجريان في الأنابيب الشعرية .

٥. كذلك يتم تطبيق نفس الخطوات السابقة لدرجات حرارة أخـرى (c° 40-50، c° 60-70، c°80-90) كما موضح في الجدول (٣) .

number	T(c)°	V(ml)	h(cm)	t(sec)	Q(ml\sec)	h\Q	μ(poise)
1-	20-30	10	5	390	0.023853		
2-	20-30	20	5	791	0.023853		
3-	20-30	30	5	1242	0.023853		
4-	20-30	40	5	1642	0.023853		
5-	20-30	50	5	2060	0.023853		
6-	20-30	10	10	180	0.043738	167.4236	0.0082
7-	20-30	20	10	٣٦٠	0.043738	167.4236	0.0082
8-	20-30	30	10	600	0.043738	167.4236	0.0082
9-	20-30	40	10	840	0.043738	167.4236	0.0082
10	20-30	50	10	1080	0.043738	167.4236	0.0082
11-	20-30	10	15	120	0.081699		
12-	20-30	20	15	240	0.081699		
13-	20-30	30	15	300	0.081699		
14-	20-30	40	15	480	0.081699		
15-	20-30	50	15	600	0.081699		
16-	40-50	10	5	200	0.038503		
17-	40-50	20	5	500	0.038503		
18-	40-50	30	5	760	0.038503		
19-	40-50	40	5	969	0.038503		
20-	40-50	50	5	1260	0.038503		
21-	40-50	10	10	90	0.092019	113.4388	0.0056
22-	40-50	20	10	200	0.092019	113.4388	0.0056
٢٣-	40-50	30	10	300	0.092019	113.4388	0.0056
24-	40-50	40	10	450	0.092019	113.4388	0.0056
25-	40-50	50	10	500	0.092019	113.4388	0.0056
26-	40-50	10	15	40	0.125038		
27-	40-50	20	15	100	0.125038		
28-	40-50	30	15	202	0.125038		
29-	40-50	40	15	272	0.125038		
30-	40-50	50	15	352	0.125038		

number	T(c)^{o}	V(ml)	h(cm)	t(sec)	Q(ml\sec)	h\Q	μ(poise)
31-	60-70	10	5	180	0.080786		
32-	60-70	20	5	375	0.080786		
33-	60-70	30	5	430	0.080786		
34-	60-70	40	5	501	0.080786		
35-	60-70	50	5	704	0.080786		
36-	60-70	10	10	102	0.153592	97.80641	0.0048
37-	60-70	20	10	155	0.153592	97.80641	0.0048
38-	60-70	30	10	230	0.153592	97.80641	0.0048
39-	60-70	40	10	286	0.153592	97.80641	0.0048
40-	60-70	50	10	361	0.153592	97.80641	0.0048
41-	60-70	10	15	65	0.172441		
42-	60-70	20	15	104	0.172441		
43-	60-70	30	15	165	0.172441		
44-	60-70	40	15	230	0.172441		
45-	60-70	50	15	290	0.172441		
46-	80-90	10	5	185	0.038413		
47-	80-90	20	5	450	0.038413		
48-	80-90	30	5	715	0.038413		
49-	80-90	40	5	1000	0.038413		
50-	80-90	50	5	1209	0.038413		
51-	80-90	10	10	63	0.117105	63.19724	0.0031
52-	80-90	20	10	142	0.117105	63.19724	0.0031
53-	80-90	30	10	225	0.117105	63.19724	0.0031
54-	80-90	40	10	311	0.117105	63.19724	0.0031
55-	80-90	50	10	405	0.117105	63.19724	0.0031
56-	80-90	10	15	40	0.196646		
57-	80-90	20	15	85	0.196646		
58-	80-90	30	15	136	0.196646		
59-	80-90	40	15	191	0.196646		
60-	80-90	50	15	241	0.196646		

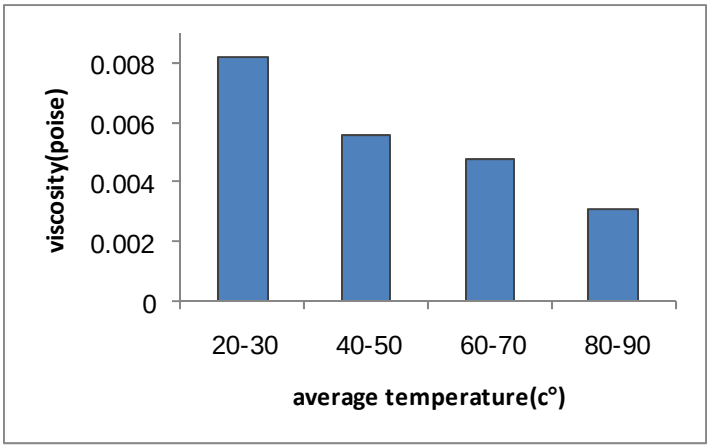
الجدول (٣) يوضح قيم النتائج العملية

من مقارنة الجدول (٢) مع الجدول (٣) نلاحظ تقارب شديد بين القيم المأخوذة من الموقع ("Engineering Tool Box ") مع القيم العملية المحسوبة في المختبر ، ففي درجات الحرارة التي تتراوح بين c° (20-30) كانت قيمة اللزوجة للماء المحسوبة عمليا (0.0082 poise) أي (0.82 cp) حيث(1 poise = 100 cp) بينما الجدول (٢) يعطي قيم اللزوجة للماء عند درجات حرارة c° (21.1

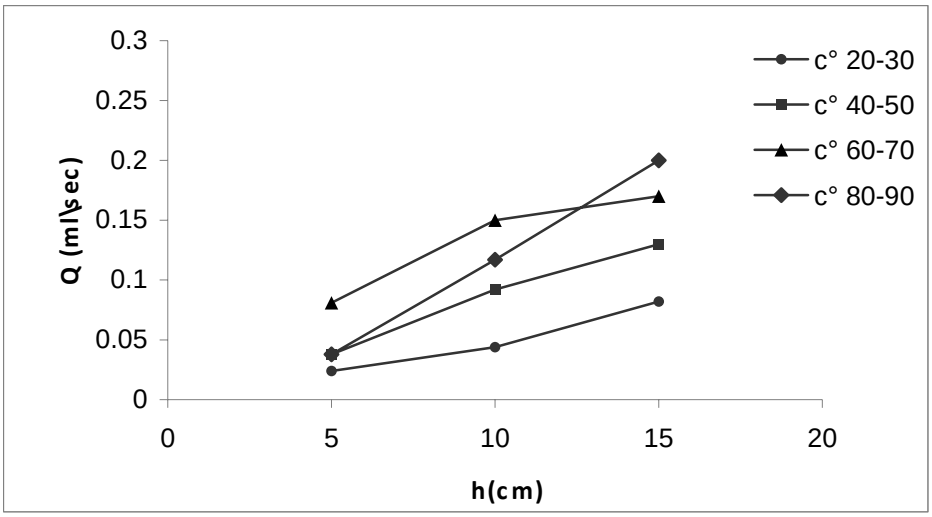
و 26.7) cp (0.982 و 0.862) على التوالي إما عند درجة حرارة بين°c (40-60) فـان القيمـة العملية للزوجة (cp 0.56) وبدرجة حرارة بين (°c 60-70) كانت اللزوجة (cp 0.48) وبدرجة حـرارة بين (°c 80-90) كانت اللزوجة (cp 0.31) أما القيم في الجدول (٢) عند درجات حرارة (°c 37.8 و °c 48.9 و °c 60 و°c 71.1 و °c 82.2) كانت قيم اللزوجة للماء هي (cp 0.682 و cp 0.559 و cp 0.47 و cp 0.401 و cp 0.347) على التوالي .

كما نلاحظ من الشكل (٦) إن اللزوجة تقل بزيادة درجة الحرارة ويرجع ذلك إلى إن الاحتكاك الداخلي بـين جزيئات السائل سوف يقل بزيادة درجة الحرارة حيث ينتج هذا الاحتكاك من قوى الأواصر بين الجزيئـات و بزيادة درجة الحرارة تزداد الطاقة الحركية للجزيئات وبالنتيجة تضعف هذه الأواصر وصـولا إلـى الحالـة الغازية للمادة .

أما من الشكل (٧) نلاحظ أيضا إن معدل الجريان لجميع درجات الحرارة يزداد بزيادة ارتفاع السائل (h) في الاسطوانة الزجاجية حيث إن بزيادة الارتفاع سوف يزداد ضغط الماء وبالنتيجة سيكون حجم الماء المار فـي الأنبوبة اكبر بنفس الفترة الزمنية مما يؤدي الى زيادة معدل الجريان .



الشكل (٦) يوضح تغير اللزوجة مع تغير درجة الحرارة للماء



الشكل (٧) تغير معدل الجريان مع تغير الارتفاع

٥-١ الاستنتاجات :-

١. القيم العملية للزوجة الماء المحسوبة بطريقة الأنابيب الشعرية مقاربة جدا لقيم اللزوجة المأخوذة من الموقع : " www. Engineering Tool Box "

٢. تقل اللزوجة بزيادة درجة حرارة الماء .

٣. يزداد معدل الجريان للأنبوب الشعري بزيادة ضغط الماء .

المصادر

الشماع ، كامل عبد الأمير " ميكانيك الموائع " (١٩٩٠). جامعة البصرة .

الملائكة ، جميل " مبادئ ميكانيك الموائع " (١٩٨٢) جامعة بغداد (الجزء الأول) .

العمري، احلام " السوائل" (٢٠٠٢). جامعة القاهرة .

أبو الجرايش، ابراهيم عثمان . الرشيدات، نضال محمد. "Classical Physics Laboratory " (2008) . جامعة اليرموك. قسم الفيزياء

Collins , R.E. " Viscosity and flow of water in capillary tubes. (2004) . " Reinhold , New York .

Scheidegger , A.E. Effect of pressure on fluid in capillary . (2003) . www. Engineering Tool Box.

Andrade , J.R. and Cost , U.M.S. " Internal effects on fluid flow through disordered porous media " The American physical society ; (1999) . Vol. 82, No. 26 .