مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (٨) العدد(١) ٢٠٢٤
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (8) No. (1) 2024

دراسة تجريبية ومحاكاة رقمية لاختبار فاصل زيت هواء

د.م حسن وسوف*

د.م فادي علي**

م.احمد الجندي***

(تاريخ الإيداع ٢٠٢٣/٨/١٦ . قُبِل للنشر في ٢٠٢٤/١/١١)

□ ملخّص□

يعد الهواء المضغوط عنصر هام ورئيسي في كثير من التطبيقات الصناعية اذ يقوم بتوفير القدرة للأدوات ونقل المواد وغير ذلك من المهام لا حصر لها، ولكن اثناء تشكله في الضواغط تتكون ضبابة زيتية هذه الضبابة يجب التخلص منها باستخدام فاصل زيت هواء. فمن أجل لحصول على هواء نقي قدر الإمكان يتم اللجوء إلى بنية فلترة سميكة و مع زيادة سماكة بنية الفلترة يزداد هبوط الضغط ففي هذا البحث تم دراسة هبوط الضغط و فعالية الفصل كما تم تحديد مناطق توزع السرعة و دراسة هبوط الضغط ضمن بنى الفلترة رقميا باستخدام المحاكاة الحاسوبية باستخدام برنامج (ANSYS CFX) لفاصل زيت هواء محلي الصنع و ذلك باستخدام بنى فلترة مصنوعة من مواد متوفرة محلياً (قطن وأسلاك فولاذ و الياف زجاجية) عند نسب مختلفة من المسامية(96% ، 80% ،80%) و كثافة التكديس ($0.103g/cm^3$, $0.0725g/cm^3$, $0.041g/cm^3$) على الترتيب و فكانت فعالية الفصل (65.78% , 82.50% , 98.76%) و قد تم تحديد مناطق توزع السرعة و تم الحصول على نتائج هبوط الضغط باستخدام ديناميك الموائع الحسابية وفي نهاية البحث تم اختيار بنية الفلترة المصنوعة من أسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ بسبب هبوط الضغط المنخفض و فعالية الفصل الجيدة .

الكلمات المفتاحية: فاصل زيت/هواء، مسامية، كثافة التكديس، فعالية الفصل، هبوط الضغط ، توزع السرعة.

* استاذ مساعد في كلية الهندسة التقنية – قسم المكننة الزراعية.

** استاذ مساعد في كلية الهندسة التقنية – قسم الطاقات المتجددة.

*** طالب ماجستير في كلية الهندسة التقنية – اختصاص المكننة الزراعة.

مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (٨) العدد(١) ٢٠٢٤
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (8) No. (1) 2024

Experimental and numerical simulation for testing oil-air separator

Dr. Hassan Wassof*
Dr. Fadi Ali**
Eng. Ahmad Al-Jendy***

(Received 16/8/2023 . Accepted 11/1/2024)

□ ABSTRACT □

Compressed air is considered an important and major component in many industrial applications .It provides power for tools, material transportation etc. However, when it forms in compressors, an oily mist forms. This mist have to be disposed using an air-oil separator .In order to obtain as pure air as possible a thick filtration medium is used. The more the thickness of filtration increased the more pressure drop increased. In this, research the pressure drop and separation efficiency were studied. The velocity distribution areas, and the pressure drop within the filtration mediums were numerically studied using (ANSYS CFX) software for a locally fabricated-oil separator. The filtration mediums were made of locally available materials (cotton, steel wires and fiberglass) at different percentages of porosities (96%, ٨٠%, ٨٠%), and packing densities (0.041g/cm^3, 0.0725 g/cm^3 ,0.١٠٣ g/cm^3) respectively and the study of the separation efficiency were (٦٥.٧٨%,82.٥%,٩٨.٧٦%) respectively. Velocity distribution were determined and the pressure drop for filtration mediums were obtained using computational fluid dynamics .At the end of the study the steel-wires filtration medium has been chosen due to low pressure drop and good separation efficiency.

Keywords: Oil/Air Separator, Porosity, Packing density, Separation efficiency, Pressure drop, Velocity distribution.

*Master's student at Tartous University - College of Technical Engineering - Department of Agricultural Mechanization.
**Associate Professor at Tartous University – Faculty of Technical Engineering – Department of Agricultural Mechanization.
*** Associate Professor at Tartous University – Faculty of Technical Engineering – Department of Renewable Energies.

١. المقدمة

خصائص الهواء المضغوط تجعله وسيطا متعدد الاستخدامات وآمنا واقتصاديا للإنتاج والتعامل معه. يستخدم الهواء المضغوط إما كوسيلة حاملة لنقل الطاقة إلى نقطة الاستخدام حيث يمكن تحويل طاقاتها الكامنة والحركية إلى قوة دافعة للمعدات الهوائية، أو كوسيط عملية نفسها (على سبيل المثال تنفس الهواء) أو لأغراض المعالجة (التحريض والخلط والتعبئة والتغليف والنقل والضغط). من أجل معظم تطبيقات الهواء المضغوط، يوجد شرط لجودة الهواء، يمكن التعبير عنه على أنه المستوى المسموح به من الملوثات فمتطلبات النقاء للأنظمة الهوائية المعقدة عالية الدقة والمؤتمتة بالكامل وتزداد في التطبيقات الكيميائية والكيميائية الحيوية والطبية الحيوية والإلكترونية والصيدلانية ومعالجة الأغذية عاما بعد عام، مما يتطلب تحسنا مستمرا في مستوى الهواء المعالج، فمن أنواع الملوثات الهوائية وذات الانتشار الواسع في التطبيقات سابقة الذكر الشوائب الزيتية الخارجة مع الهواء المضغوط من مخرج الضاغط. فيتم التخلص منها باستخدام فواصل زيت–هواء، وتتم عملية الفصل والتخلص من الزيت الخارج مع الهواء المضغوط عن طريق جهاز يدعى فاصل زيت–هواء، وعادة ما يتضمن الفاصل عملية فصل كخطوة أولى ومرشح في الخطوة الثانية. تعتمد الخطوة الأولى على مبدأ الفصل بالقصور الذاتي، حيث يكون قطيرات الزيت ذات قطر و وزن كبير و بذلك تتم عملية الفصل الخاصة بالقطيرات ذات الأحجم الكبيرة أما الصغيرة منها فتدخل للمرشح الذي يمثل الخطوة الثانية في هذه الخطوة يستخدم مرشح خاص لجعل قطيرات الزيت الصغيرة القطر المتبقية تتجمع وتصبح قطرات أكبر ليتم إزالتها، فكلما زادت كفاءة الفصل في الخطوة الأولى، كلما قلت كمية الزيت الذي يدخل فلتر الزيت (المرشح)، فمن الواضح أن الخطوة الأولى تلعب دورا دور مهم للفاصل، والتحقيق من عملية الفصل ضرورية لتحسين كفاءة الفاصل (J Feng et.al 2008).

فقد قام الباحثون (Kaiser et.al 2019) من خلال إجراء دراسة لتحديد فعالية فاصل (زيت/هواء) ذو بنية فصل ليفية فتم تحديد حجم قطيرات الزيت التي تم توزيعها من خلال الضبابة الزيتية التي تم توليديها من خلال ضاغط لولبي ومولد للضبابة الزيتية وذلك بضغط أقل من (10 bar) إذ كان قطر القطيرات يتراوح من (40nm إلى 3µm) فكانت الزيادة في كل من درجة الحرارة والضغط وسرعة التدفق ومعدل التزويد بالزيت كلما تدهور أداء الفاصل إذ كان التدفق الحجمي يتراوح بمجال (من 200 l/min إلى 75l/min).

قد قام الباحثون (Mullins et al 2014) من أجل دراسة تأثير خواص المادة المكونة لليف وأثرها على فعالية الفصل وذلك بمقارنة أداء فلتر للتخلص من الضبابة الزيتية ذو بنية من الألياف محبة و كارهة للزيت فتمت المقارنة بين أربع أنواع من بنى الفلترة منها ما كان خليط من الألياف الكارهة و المحبة مع الاحتفاظ ببنية الفلترة المتكونة من الألياف المحبة للزيت كمرجع إذ كانت الألياف مصنوعة من الألياف الزجاجية فيما تمت معالجة القسم الآخر من الألياف الزجاجية أثناء الصناعة لتصبح كارهة للزيت و قد تم استخدام بنية شبكية من البوليستر متوضعة بين طبقات الألياف أثناء الدراسة باستثناء البنية المرجعية فعند إجراء التجارب على بنى الفلترة كان التدفق (10.7 L/min) و بسرعة (0.248 m/s) وتم توليد الضبابة الزيتية باستخدام مولد للضبابة فبلغت كفاءة الفلترة أعلى من (99%) لكل من بنى الفلترة المستخدمة.

درس الباحثون (L Z Wang et.al 2015) تجريبيا ورقميا آلية الفصل والتدفق متعدد الأطوار لفاصل زيت/غاز إعصاري حسابياً وتجريبياً، فبالطريقة الحسابية تم استخدام طريقة أويلر–لاغرانج وتم تتبع حركة قطيرات الزيت وتوزع مناطق الضغط، والسرعية المحورية و المماسية حسابياً باستخدام المحاكاة الحاسوبية و تجريبياً ضمن

مجال سرعة يتراوح (من 18.5m/s إلى 14m/s) وبضغط دخل (0.2MPa) فأظهرت الدراسة زيادة الفعالية في الفصل حتى سرعة 17.1m/s و كلما زادت السرعة عن القيمة السابقة تتناقص فعالية الفصل.

قام الباحثان (Tomescu & Bucur 2021) بالدراسة الرقمية لفاص (زيت/غاز) و ذلك باستخدام ديناميك الموائع الحسابية إذ تمت عملية المحاكاة باستخدام برنامج ANSYS CFX ، فتمت دراسة التدفق ضمن الفاصل باستخدام نماذج الحركة المضطربة و دراسة التدفق متعدد الأطوار إذ أظهرت النتائج أنه فقط (0.1%)من كمية الزيت الداخل عبر مدخل الفاصل يخرج عند مخرج الفاصل.

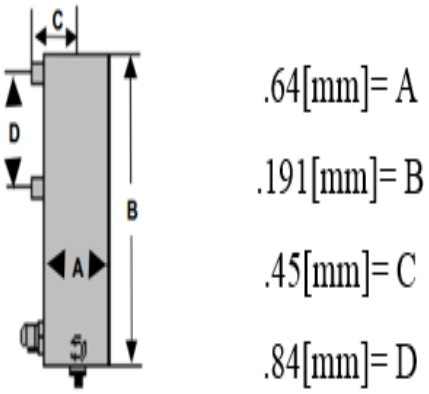
٢. أهمية البحث وأهدافه

تنبع أهمية البحث من الحاجة إلى تصنيع واختبار فاصل زيت/هواء للضواغط الصناعية بشكل محلي، ومن مواد متوفرة لتكون بديلا عن الفواصل المستوردة عالية التكلفة، بحيث يحقق الفاصل كفاءة فصل عالية ومقبولة بالنسبة للتطبيقات الصناعية المختلفة (هواء خالي من الزيت بنسبة تزيد عن(90%)، وتحقيق الاقتصاد بالزيت من خلال بقاء النسبة الأعلى من الزيت ضمن الضاغط، واختبار كفاءة الفاصل عند شروط تشغيلية مختلفة خاصة ببنية الفلترة، واختيار التصميم الأنسب للفاصل اعتماداً على بعض المعطيات التصميمية والتشغيلية المختلفة ، و من خلال القيام بالمحاكاة الحاسوبية باستخدام معادلات ديناميك الموائع الحسابية التي تعرف اختصارا (CFD) من أجل معرفة سير العمليات ضمن مختلف بنى الفلترة، و أثراها على هبوط الضغط.

٣. مواد البحث وطرائقه

١.٣. المعطيات التصميمية

تم تصميم الأبعاد لهيكل الفاصل بالاعتماد على فاصل يعتمد على مبدأ اللولب المركزي من أجل توليد الحكة الإعصارية نمط (S-5180 من إنتاج شركة HENRY TECHNOLOGIES) و، الشكل (١) يبين الأبعاد الخاصة بالفاصل.



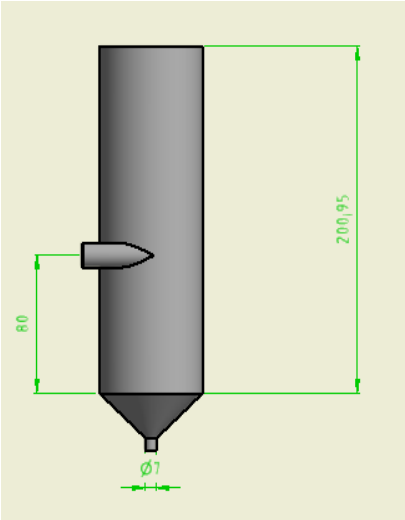
الشكل (١):هيكل الفاصل مع الأبعاد.

قد تم التعديل بحيث تم توليد الحركة الإعصارية بجعل المدخل مماساً لهيكل الفاصل وقد تم إضافة بنية فصل يبعد الوجه السفلي لها عن مركز مدخل الفاصل مسافة (38mm) وعن مخرج الفاصل مسافة (32mm) وكان قطر مدخل الفاصل ومخرجه مساوياً (12mm) كقطر داخلي وكان القطر الداخلي لهيكل الفاصل مساوٍ (64mm) وكانت سماكة بنية الفصل (30mm) إذ يجب تحقيق المتطلبات التصميمية التالية بين مركز المدخل والسطح العلوي لبنية الفصل والمخرج والسطح العلوي لبنية الفصل:

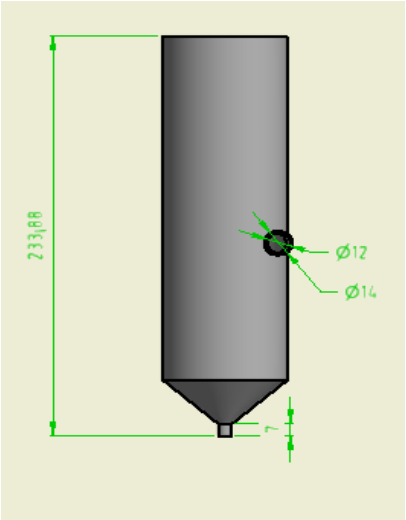
$$H \geq \frac{D}{2} - \frac{d}{2} \qquad (1)$$

حيث H البعد بين مركز مدخل الفاصل والسطح العلوي لبنية الفلترة أو الفلترة أو البعد بين مخرج الفاصل والسطح العلوي لبنية الفلترة، D: قطر الفاصل، d: قطر مدخل الفاصل أو مخرج الفاصل، وتم إضافة مستودع للاحتفاظ بالزيت مع وجود قناة تصريف والشكل (٢) يبين الأبعاد التفصيلية لهيكل الفاصل وحاضنة بنية الفصل وهي عبارة عن أسطوانة قطرها (63mm) وارتفاعها (2mm) ولها ثقوب مربعة بأبعاد (8*8mm).

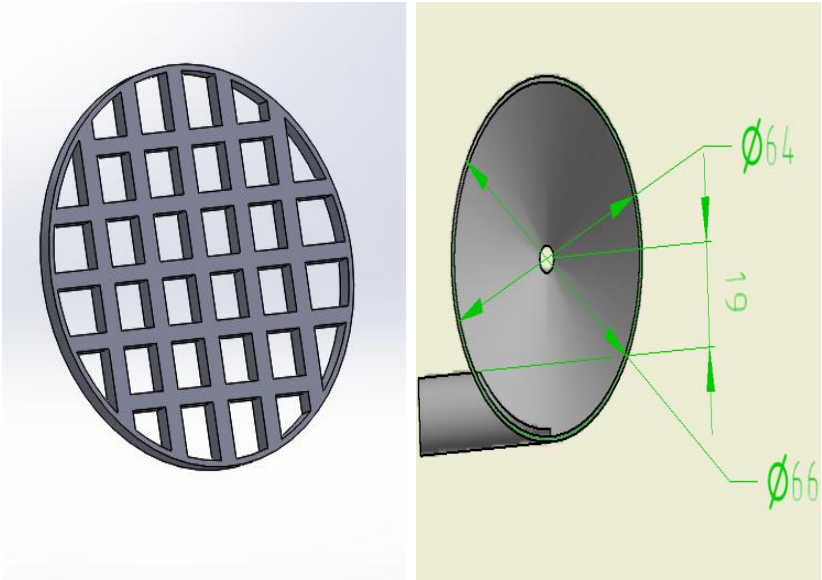
تم اختيار الفاصل المبينة أبعاده بالشكل(١) لأنه من الفواصل المستوردة الواسعة الانتشار وخصائص الفاصل وأبعاده ملائمة ومناسبة للتدفقات الصغيرة والمتوسطة.



(2-b)



(2-a)



(2−d) (2−c)

الشكل(2): المساقط الثلاثة لهيكل الفاصل مع الأبعاد التفصيلية حيث(2−a) مسقط أمامي و(2−b) مسقط جانبي و(2−c) مسقط رأسي و (2−d) حاضنة بنية الفصل.

2.3. دارة التجربة:

تم تصميم الدارة المبينة في الشكل (٣) وذلك من أجل اختبار أداء الفاصل حيث تم إجراء الاختبار وفق شروط تدفق هوائي مشبع بالشوائب الزيتية، إذ تم فتح صمام المخصص لمخرج مستوعب الضغط للضاغط (جرة الضاغط) عند وصول الضغط إلى قيمة (7 bar) ومن ثم يستقر عند دخوله للدارة عند قيمة (6 bar).

تم ضبط حساس التدفق(٤) الخاص بفوهة "لاسكن" المخصصة لتوليد الضباب عند قيمة (60L/min) ليدخل الهواء بعدها عبر فوهة لاسكن إلى مستوعب الزيت حيث تتولد الضبابة الزيتية وفق طيف واسع من أقطار الشوائب الزيتية، ومن ثم يذهب الخليط المشبع عبر الخلاط (٣) والذي من خلاله يتم التحكم بدرجة الإشباع عن طريق صمام بوابي في بدايته ومن ثم إلى الفاصل (١)، ويتم قياس ضغط مخرج الفاصل بواسطة دارة بسيطة (٢).

الشكل (٣): دارة الاختبار(١) الفاصل، (٢) دارة قياس الضغط، (٣) الخلاط، (٤) فوهة لاسكن مع حساس التدفق.

٣.٣. تحضير بنى الفلترة وخصائصها وخصائص الزيت المستخدم:

أولا تم تحيد المسامية الخاصة بكل عينة وذلك عن طريق معرفة حجم الفراغ ضمن كل عينة، وقد تم ذلك عن طريق وضع العينات ضمن وعاء سعته (55 ml) ، وتم وضع حجم من الماء مقداره (X ml) من وعاء مدرج بحجم (60 ml) و ذلك حتى يتمكن السائل من طرد الفراغات الهوائية، و من خلال معرفة حجم الماء المستخدم يتم معرفة حجم الفراغ ضمن كل بنية، كما تم تحديد كثافة التكديس(α) وذلك من خلال النسبة بين كتلة الألياف ضمن البنية و الحجم الخاص بالعينة (R.Kouhikamali et.al 2014) و الجدول (١) يبين المواد المستخدمة والمسامية الخاصة بكل بنية.

الجدول(١): خواص ومواد بنى الفلترة المستخدمة.

المسامية (ε) %	توجيه الألياف	كثافة التكديس (a) g/cm^3	كتلة الألياف g	المادة
80	عشوائية التوجيه وفي غالبيتها عمودية على جريان الخليط (هواء محمل بشوائب زيتية)	٠.٠٧٢٥	7	أسلاك الفولاذ منخفض الكربون ومقاوم للصدأ
80		٠.١٠٣	10	ألياف زجاجية نمط E-125
96		٠.٠٤١	4	سيللوز طبيعي (قطن)

قد تم وضع بنية الفلترة على بعد (38 mm) من مدخل الفاصل، وعن المخرج مسافة (32mm) كما تم ذكره سابقاً وقد تم توفير المواد من المنطقة الصناعية بطرطوس وإجراء الاختبارات على الفاصل وعلى بنى الفلترة في معمل الجندي لصناعة الخراطيم الزراعية في المنطقة الصناعية بطرطوس.

أما بالنسبة للزيت فقد تم توفيره من المنطقة الصناعية بحمص وتم التأكد من خواصه المبينة في الجدول(٢) بواسطة المخبر الخاص لشركة هيومان فارما للصناعات الدوائية.

الجدول(٢): خواص الزيت المستخدم في الدراسة.

الكثافة g/cm^3	اللزوجة الكيناماتيكية cST
0.8613	131.5

فمن اجل تحديد فعالية الفصل تتم النسبة بين كمية الزيت التي تم فصلها وكمية الزيت الداخل للفاصل وفق المعادلة التالية:

$$\eta = \frac{m_{sep}}{m_{in}} (2)$$

حيث: m_{sep} : كمية الزيت التي يتم فصلها [g/hour] ، m_{in} : كمية الزيت الداخل للفاصل[g/hour]

4.3. المحاكاة الحاسوبية:

تمت عملية المحاكاة باستخدام برنامج (ANSYS CFX)، و قد تم اعتماد نموذج (K-ε) للحركة المضطربة ، إذ تمثل المعادلات التالية المستخدمة أثناء المحاكاة الحاسوبية:

- معادلة الاستمرار:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \qquad (3)$$

حيث:ρ : الكثافة [Kg/m^3] ،u_i : السرعة المرتبطة بالإحداثي i [m/s]

- معادلة الحركة:

$$\frac{\partial(\rho \boldsymbol{U})}{\partial t} + \nabla . (\rho\, \boldsymbol{U} \otimes \boldsymbol{U}) = -\nabla p + \nabla . \tau + S_M \quad (4)$$

$\boldsymbol{U}$: متجه السرعة [m/s]، p : الضغط [Pa]، τ : إجهاد القص [Pa]، S_M : منبع الحركة [Kg/m^{2}s^2]

- معادلة طاقة الاضطراب الحركية (K):

$$\frac{\partial(\rho K)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho U_j k) = \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k}\right)\frac{\partial k}{\partial x_j}\right] + P_k - \rho\varepsilon + P_{kb} \qquad (5)$$

حيث: K : تمثل طاقة الاضطراب الحركية لواحدة الكتلة [m^2/s^2]، μ : اللزوجة الديناميكية [Pa.s] ، μ_t : اللزوجة الدوامية أو اللزوجة المضطربة [Kg/ms]، σ_k : ثابت و قيمته تساوي ١ ، P_k : الإنتاج المضطرب بسبب قوى اللزوجة [Kg/ms^3] ، P_{kp} : تتمثل بقوى الطفو[N]

- معادلة التبديد في الاضطراب الدوامي ε:

$$\frac{\partial \rho\varepsilon}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho U_j \varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon}\right)\frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j}\right] + \frac{\varepsilon}{k}(C_{\varepsilon 1}P_k - C_{\varepsilon 2}\rho\varepsilon + C_{\varepsilon 1}P_{\varepsilon b}) \, (6)$$

ε : معدل تبديد الاضطراب[m^2/s^3] ، σ_ε : ثابت و قيمته ١.٣ ، $C_{\varepsilon 1}$: ثابت قيمته ١.٤٤ ، $C_{\varepsilon 2}$: ثابت قيمته ١.٩٢ ، $P_{\varepsilon b}$: يمثل قوى الطفو [N] .

فأثناء المحاكاة الحاسوبية يتم اعتماد مبدأ العناصر المنتهية ، إذ يتم تقسيم التصميم إلى شبكة منتهية من العناصر التي ترتبط مع بعضها البعض بواسطة العقد، و لهذه العناصر أشكال مختلفة، فالجدول(٣) يبين عدد العناصر والعقد المستخدمة في المحاكاة الحاسوبية و حجم العناصر وشكلها وعدد العقد، فالتصميم مقسم وفق ثلاثة قطاعات رئيسية، فالقطاع الأول يتمثل بالحجم من بداية الفاصل حتى بنية الفصل والفلترة (البنية المسامية) التي تمثل القطاع الثاني، و الثالث يتمثل بالحجم من بنية الفلترة حتى مخرج الفاصل، إذ تمت المحاكاة على الفراغ الذي يتم به التدفق ، و باتساع موحد للعناصر.

الجدول(٣): إحصائيات شبكة بنية العناصر المنتهية الخاصة بالمحاكاة الحاسوبية

اتساع العنصر mm	شكل العنصر	عدد العقد	عدد العناصر	القطاع
٣	رباعي الأوجه	٢٣٦٨٣	١٢٨٢٤٧	القطاع الأول
	سداسي الأوجه	١٠٩٤٥	٩٦٨٠	القطاع الثاني
	رباعي الأوجه	٦٨٥١	٣٥٤٥٢	القطاع الثالث

فيما كانت الشروط الحدية لعملية المحاكاة مبينة في الجدول (٤).

الجدول(٤): الشروط الحدية لعملية المحاكاة.

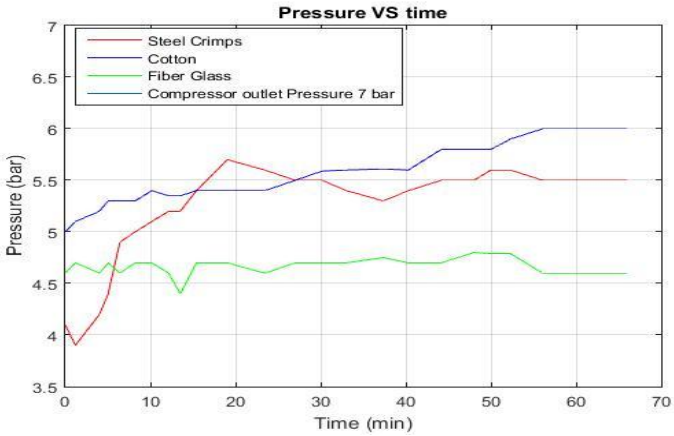
Total Pressure inlet عند قيمة6 bar	المدخل
Mass flow rateعند قيمة 0.0012 Kg/s	المخرج

4. النتائج و المناقشة:

1.4. التجربة العملية:

تمت الدراسة لتحديد أثر بعض البارامترات الخاصة ببنية الفلترة على كل من هبوط الضغط (أثر كثافة التكديس والمسامية) وفعالية الفصل (أثر كثافة التكديس) وذلك ضمن زمن تجربة (66 min).

فبعد الانتهاء من زمن التجربة العملية الخاصة بكل بنية فلترة ضمن الفاصل تم الحصول على مخطط لضغط خرج الفاصل كما بين الشكل (٤).



الشكل(٤): ضغط خرج الفاصل بعد الانتهاء من زمن التجربة والبالغ 66 min.

إذ تتم ملاحظة أنه عند استخدام بنية الفصل المصنوعة من السيللوز يتم الحصول على أدنى قيمة لهبوط الضغط والتي تكاد تكون مساوية لقيمة ضغط الهواء الداخل للدارة والبالغ (6bar) فيما كانت قيمة الخرج الحاصل عليها أثناء استخدام البنية المصنوعة من أسلاك الفولاذ منخفض الكربون و المقاوم للصدأ تساوي تقريباً (5.5 bar)، أما بنية الفلترة المصنوعة من ألياف الزجاج فكانت قيمة خرج الفاصل مساوية (4.6 bar).

فيما بلغت أكبر فعالية فصل لبنية الفصل المصنوعة من ألياف الزجاج إذ بلغت (98.76%)، فيما بلغت كفاءة الفصل لكل من بنية الفولاذ والبنية السلولوزية (82.50% و 65.78%) على الترتيب.

1.1.4. أثر المسامية على هبوط الضغط:

تعرف المسامية على أنها النسبة بين حجم الفراغات بين ألياف اللاقط الضبابي إلى حجم اللاقط الضبابي (بنية الفلترة) ذاته (Al-Dughaither et.al 2010)، وكما هو مبين من خلال المقارنة بين الجدول(١) والشكل(٤) فإنه مع نقصان المسامية يزيد هبوط الضغط ويعزى ذلك إلى نقصان حجم الفراغ والذي من خلاله يتدفق الهواء ضمن البنية، والذي بدوره يؤدي إلى زيادة مقاومة التدفق.

2.1.4. أثر كثافة التكديس على هبوط الضغط:

أثناء المقارنة بين الجدول(١) والشكل(٤) نستطيع ملاحظة أنه أعلى هبوط للضغط عند أعلى قيمة لكثافة التكديس، فمع زيادة كثافة التكديس يزيد حجم الألياف ضمن البنية مما يؤدي إلى نقصان المسامية الخاصة بالبنية وذلك يسبب زيادة مقاومة التدفق ويمكن أيضاً تفسرها على احتفاظ بنية الفلترة بالطور السائل (الشوائب الزيتية) مما يقلل من حجم التدفق الخاص بالهواء وبدوره زيادة مقاومة التدفق.

3.1.4. أثر كثافة التكديس على فعالية الفصل:

الجدول(٥): يبين قيم الزيت الداخل إلى الفاصل وكميه الزيت المسترجع من الخليط وكذلك فعالية الفصل.

بنية الفلترة المستخدمة	كمية الزيت الداخل للفاصل m_{in} g/hour	كمية الزيت المسترجعة m_{sep} g/hour	فعالية الفصل η %
أسلاك الفولاذ منخفض الكربون ومقاوم للصدأ	٤.٧٠	٣.٨٨	٨٢.٥٥
ألياف الزجاج		٤.٦٤	٩٨.٧٢
قطن		٣.٠٩	٦٥.٧٤

ترتبط مساحة سطح الألياف ارتباطاً وثيقاً بكثافة التكديس، فمع زيادة كثافة التكديس تقل مسامية البنية وذلك يؤدي إلى اقتراب أعداد أكبر من الشوائب المحملة بالهواء من الألياف وزيادة نسبة التقاطها أثناء عبور الهواء المحمل بتلك الشوائب بالبنية المسامية التي تمثل بنية الفلترة.

2.4. المحاكاة الحاسوبية:

تمت عملية المحاكاة من أجل معرفة هبوط الضغط ضمن كل من بنى الفلترة الثلاث و، من أجل ذلك تم اعتماد نموذج دارسي المتمثل في المعادلة التالية:

$$\Delta P = \frac{\mu\, \vartheta_o\, L}{K} \qquad (7)$$

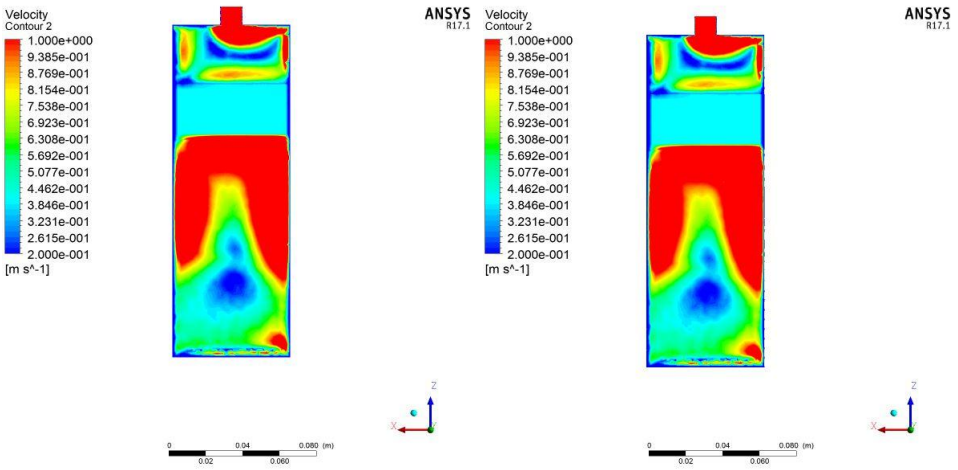
حيث: ϑ_o : سرعة المائع [m/s] ، K : السماحية الخاصة بالبنية [m^2] ، L : السماكة سماكة البنية [m].

فتم الحصول على النتائج التالية المبينة بالشكل (٥) الذي يوضح مناطق توزع السرعة داخل الفاصل ضمن مجال من (0.2m/s إلى 1m/s) و مخطط هبوط الضغط عبر البنى الثلاث و ذلك عند قيم للمسامية و كثافة التكديس لكل من القطن و ألياف الزجاج و الفولاذ منخفض الكربون التي يوضحها الجدول(١) أي للعينات التي أجريت عليها التجارب العملية والجدول(٦) يبين نتائج المحاكاة الخاصة بهبوط الضغط الخاص بكل بنية عند تثبت كثافة التكديس و السماكة و بتغيير المسامية فتمت عملية المحاكاة عند قيم للمسامية (80%,88%,96%)

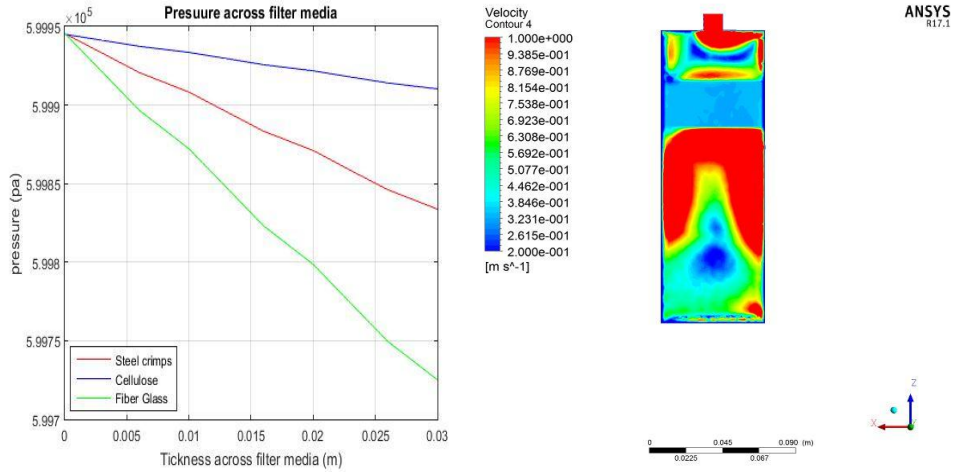
الجدول(٦): قيم هبوط الضغط عند قيم مختلفة من المسامية لكل من بنى الفصل والفلترة.

البنية المدروسة	المسامية%		
	٨٠	٨٨	٩٦
	هبوط الضغط pa		
أسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ ومنخفض الكربون	١١١.٧٥	١١١.٦٨٧	١١١.٦٢٥
ألياف زجاجية نمط E-125	٢٢٠.٥	٢٢٠.٣٧٥	٢٢٠.٣١٢
قطن	٣٤.٧٥	٣٤.٦٨٢	٣٤.٥

أما بالنسبة لكثافة التكديس فزيادتها مع ثبات السماكة تؤدي لزيادة حجم الألياف ضمن البنية وذلك يؤدي لتقليم الحجم المخصص لتدفق الهواء ضمن البنية مما يسبب هبوط أعلى في الضغط وزيادة احتمال تصادم قطرات الزيت مع الألياف مما يزيد فعالة الفصل وعلى النقيض نقصان كثافة التكديس تؤدي لنقصان حجم الألياف ما يزيد الحجم المخصص لتدفق الهاء ضمن البنية ويقلل احتمال تصادم قطرات الزيت مع الألياف مما يقلل فعالية الفصل.



(5-b) (5-a)



(5-d) (5-c)

الشكل(٥): مناطق توزع السرعة ضمن الفاصل إذ: a-5 مناطق توزع السرعة ضمن الفاصل عند استخدام بنية الألياف الزجاجية، b-5 مناطق توزع السرعة ضمن الفاصل عند استخدام بنية الفولاذ،c-5 مناطق توزع السرعة ضمن الفاصل عند استخدام بنية القطن ،d-٥ هبوط الضغط ضمن البنى الثلاث.

فمن الشكل(٥) يمكن ملاحظة أن متوسط السرعة ضمن بنية الفلترة المصنوعة من القطن (السيللوز) كان أدنى من (0.36 m/s) و، بالمتوسط بلغ (0.32 m/s) و لبنية الفولاذ (0.392 m/s) و لألياف الزجاج (0.394 m/s) تقريباً، و كان هبوط الضغط لبنية القطن (34.5 pa) أقل من بنية أسلاك الفولاذ (111.75 pa) و بنية ألياف الزجاج (220.5 pa) كما يبين الشكل(٥) فللسرعة أثر سلبي على هبوط الضغط إذ من المعادلة(٧) فإنه مع زيادة سرعة التدفق داخل البنية المسامية يؤدي ذلك إل هبوط أعلى في الضغط بالإضافة فإنه مع زيادة سماكة البنية المسامية التي يتدفق من خلالها الهواء يزداد هبوط الضغط بسبب زيادة المقاومة التي يتعرض لها أثناء تدفقه كما يبين الشكل(5-d) و عملياً مع زيادة السرعة يؤدي ذلك إلى زيادة عدد و حجم الشوائب الهوائية الداخلة للبنية و عليه يترتب زيادة كفاءة الفصل و نقصان الحجم الحر الذي يتدفق عبره الهواء و بالتالي هبوط أعلى للضغط .

فمن خلال التجارب العملية والمحاكاة الحاسوبية تبين أن بنية الفصل المصنوعة من أسلاك الفولاذ منخفض الكربون ومقاومة للصدأ أبدت هبوط قليل للضغط وفعالية فصل جيدة.

الاستنتاجات:

١–تزداد كفاءة الفصل كلما زادت كثافة التكديس إذ بلغت أعلى قيمة لكفاءة الفصل (98.76%) عند أعلى كثافة تكديس والخاصة بالبنية المصنوعة من الألياف الزجاجية.

٢–يزداد هبوط الضغط بزيادة كثافة التكديس إذ بلغت أعلى قيمة لهبوط الضغط عند أعلى قيمة لكثافة التكديس والخاصة بالبنية المصنوعة من الألياف الزجاجية.

٣–ينقص هبوط الضغط بزيادة المسامية إذ بلغت أقل قيمة لهبوط الضغط عند أعلى قيمة للمسامية والخاصة ببنية الفلترة المصنوعة من القطن.

٤–يزداد هبوط الضغط مع زيادة السرعة كما أوضحت عملية المحاكاة الحاسوبية إذ بلغت أعلى قيمة لهبوط الضغط عند أعلى قيمة للسرعة ضمن البنية والخاصة ببنية الفلترة المصنوعة من ألياف الزجاج.

المقترحات:

١–نقترح بجعل البعد بين مدخل الفاصل والسطح السفلي لبية الفلترة أكبر وذلك من أجل تخفيف أثر السرعة.

٢–استخدام بنية فلترة قلية السماكة ومحاكة إما من ألياف الزجاج أو من الفولاذ المقاوم للصدأ من أجل تقليل هبوط الضغط.

٣–دراسة الفاصل تجريبياً وفق مجال أوسع من التدفقات.

المراجع:

[1]-Barber,A.(1997). Pneumatic Handbook. Elsevier Science & Technology Books, 8th.Uk, 659p.

[2]-Feng,J,Chang,Y,Qu,z.(2008).Investigation of the oil-gas separation in a horizontal separator for oil-injected compressor units. Journal of power and Energy,Vol.222.403-411

[3]-Kaiser,S, Gugelfuß,A, Gyurkovich,A, Rupp,M, Mehring,C, Pische,M.(2019) Characterization of oil injected screw compressors and oil/air separators at realistic operating pressures. Aerosol Science and technology ,Vol .53.1311-1321

[4]-Mullins,B ,Mead-Hunter,R ,Pitta,R ,Kasper,G Heikamp,W.(2014).Comparative performance of Philic and Phobic oil-mist filter .AICHE Journal , Vol.60.2976-2984

[5]-Wang,L,Z,Gao,X,Feng,J,M,Peng,X,Y.(2015).Research on tow-phase flow and separation mechanism in the oil-gas cyclone separator. Material Science and Engineering,Vol.90.1-10.

[6]-Tomesco,S,Bucur,I,O.(2021).Numerical investigation of oil gas separation with the use of VOF CFD Engineering , Technology & Applied Science Research ,Vol .11 ,No.6 .7841-7845.

[7]-Kouhikamali,R,Abdi,S,Hassani,M.(2014). Numerical study of performance of wire mesh mist eliminator Applied thermal engineering ,Vol.67. 214-222.

[8]-ANSYS .Inc.(2009). ANSYS CFX-Solver theory guide . ANSYS .Inc. U.S.A ,257p.

[9]-Al-Dughaither,A,Ibrahim,A,Al-Masry,W.(2011). Investigating pressure drop across wire mesh mist eliminators in bubble column. Journal of Saudi Chemical Society ,Vol.15.1-9.