

## تحديد قطر جهاز فصل الدقيق وأبعاد منظم قفل الهواء تجريبياً لنظام نقل هوائي

د. أحمد صالح العوض\* و د. محمد سعيد السابق\* و د. توفيق عيسى\*

### الملخص

هدف البحث إلى تحديد قطر جهاز فصل الدقيق عن الهواء (السيكلون)، وتحديد أبعاد منظم قفل الهواء أيضاً لنظام نقل هوائي لمادة دقيق القمح، بحيث يحققان معاً الطاقة الإنتاجية المطلوبة، وذلك بعد تصميم نظام النقل الهوائي وتنفيذه باستخدام نظام الضغط السالب (Negative Pressure System).

صمّم النظام انطلاقاً من قيم تصميمية معروفة مثل: السرعة الدنيا لنقل مادة الدقيق بالهواء ( $C_{min} = 15 \text{ m/s}$ )، ومعدل التدفق الكتلي للدقيق ( $m_p = 4 \text{ tonne / hr}$ )، ومسافة النقل الكلية، والخصائص الفيزيائية للدقيق ككثافة الجزيئات ( $\rho_p = 1470 \text{ kg / m}^3$ ) وحجمها ( $d_p = 90 \text{ }\mu\text{m}$ ).

من خلال المعطيات الأولية حسب انخفاض الضغط الكلي في النظام ( $\Delta p_{tot} = 40.85 \text{ kN / m}^2$ )، وحسب قطر الأنبوب اللازم لنقل الدقيق ( $d = 0.08 \text{ m}$ )، وحسب معدل التدفق الكتلي للهواء ( $m_a = 0.11 \text{ kg / s}$ )، وحسبت الاستطاعة اللازمة لتشغيل النظام ( $P = 7.5 \text{ kW}$ )، وحسبت مؤشرات تصميمية أخرى للنظام بشكل عام.

نقّذ هذا التصميم بمطحنة اليرموك بدرعا بأطر وطنية، حدّد القطر الأمثل تجريبياً لجهاز فصل الدقيق عن الهواء ( $D = 0.4 \text{ m}$ ) واستنتجت الأبعاد التصميمية الأخرى له بدلالة القطر، كما تمّ تحديد أبعاد منظم قفل الهواء المثلى تجريبياً ( $0.25 \times 0.25 \text{ m}$ ). وأخيراً أثبتت النتائج التجريبية أنّ السيكلون والمنظم يحققان الطاقة الإنتاجية المطلوبة ويتوافقان مع النظام.

الكلمات المفتاحية: نظام نقل هوائي، السيكلون، منظم قفل الهواء، أنبوب النقل، الطاقة الإنتاجية.

\* قسم هندسة السيارات والآليات الثقيلة، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة دمشق.

## Determining the Diameter of Flour Separation device Experimentally and the Dimensions of Air-Lock valve for A Pneumatic Conveying System

Dr. A. S. Al-Awad\* ; Dr. M. S. Al Sabek\* and Dr. T. Issa\*

### Abstract

The research aims to Determine of Flour Separation device Diameter and Air-Lock valve Dimensions Experimentally for a Pneumatic Conveying System for transferring wheat flour, where cyclone and Air-Lock valve together fulfill productive capacity after design and implement a Pneumatic Conveying System using negative pressure system.

The system has been designed based on known design values, including minimum velocity to transfer flour by air ( $C_{min} = 15$  m/s), and the mass flow rate of flour ( $m_p = 4$  tonne / hr), and the total conveying distance, and physical properties of the flour particles such as particles density ( $\rho_p = 1470$  kg / m<sup>3</sup>) and size ( $d_p = 90$   $\mu$ m).

Through the initial data, we calculated the design parameters including total pressure drop in the system ( $\Delta p_{tot} = 40.85$  kN / m<sup>2</sup>), required pipeline diameter to transport flour ( $d = 0.08$  m), mass air flow rate ( $m_a = 0.11$  kg / s), power requirements of pneumatic conveying system ( $P = 7.5$  kW), and other design parameters of whole pneumatic conveying system.

The above design has been successfully implemented at Al-Yarmouk Mill using local human resources.

Experimentally Determining the Diameter of Flour Separation device ( $D = 0.4$  m) and the Dimensions of Air-Lock valve (0.25\*0.25 m) for a Pneumatic Conveying System.

Finally, experimental results have proven the Cyclone and air-lock valve fulfill productive capacity and compatible with the whole system.

**Keywords:** Pneumatic conveying system, conveying pipeline, and cyclone.

---

\* Dept. Automotives & heavy Vehicles Eng., College of Mech. & Elect. Eng., Damascus University.

**1- المقدمة:**

يؤدي إلى الإصابة بالأمراض المهنية الخطيرة، ويؤدي أيضاً إلى تلوث البيئة. إن عمليات الكوثر والتنظيف التقليدية صعبة وغير فعالة خاصة في بعض زوايا القسم الضيقة، وأسفل مكبات الطحن والمناخل والفلاتر ومجاري التهوية للمحركات الكهربائية وغيرها، ما يؤدي إلى تشكّل بيئة حاضنة لانتشار الحشرات ولاسيما حشرة السوس، ما يستدعي ضرورة التعقيم المستمر، فضلاً عن ذلك فإنّ عملية تنظيف بعض الآلات كالمناخل والفلاتر يتطلب توقف المطحنة عن العمل، ما يؤدي إلى انخفاض الطاقة الإنتاجية. تستغرق عمليات الكوثر والتنظيف ساعتين أو ثلاث ساعات يومياً، وربما أكثر من ذلك حسب توفر الأيدي العاملة، ما ينتج عنه انخفاض الطاقة الإنتاجية بمعدل (10-15 tonne) يومياً للخط الواحد.

من هذه الأسس (سابقة الذكر) جاءت فكرة تصميم نظام نقل هوائي وتنفيذ لمادة الدقيق يوفر الجهد والوقت والأيدي العاملة ومواد التعقيم، ويمكن استخدامه في عمليات تنظيف الآلات وأسفلها دون الحاجة لتوقف المطحنة، ما يؤدي إلى زيادة الطاقة الإنتاجية، ويقلل من مخاطر الانفجارات الغبارية والأمراض المهنية، ومخاطر التلوث البيئي.

تكمن صعوبة تصميم أنظمة النقل الهوائي في تحديد القطر الأمثل لجهاز فصل المادة الصلبة عن الغاز المستخدم، وكذلك تحديد أبعاد منظم قفل الهواء. وذلك لعدم وجود معادلات رياضية خاصة بمادة دقيق القمح من ناحية وبسبب الاختلاف الكبير في كثافة المادة المنقولة وأبعادها (غبار، ودقيق، وسكر... إلخ) من ناحية أخرى، لذلك لا بدّ من إجراء التجارب العملية لتحديد قطر السيكلون، وأبعاد المنظم لتحقيق الطاقة الإنتاجية المطلوبة.

**2- الهدف من البحث:**

هدف البحث إلى تحديد قطر جهاز فصل الدقيق عن الهواء (Solid-Gas Separation Device)

تستخدم أنظمة النقل الهوائي في معظم قطاعات الصناعة لنقل المواد الصناعية كالبودرة والمواد الحبيبية والدقيق والفحم وغيرها من المواد. تراوح أقطار جزيئات المادة المنقولة من بضعة ميكرونات لتصل إلى عدة سنتيمترات، وتراوح أقطار الأنابيب من (1 cm) لتصل إلى (60 cm)، كما تراوح مسافات النقل من عدة أمتار إلى عدة كيلومترات [1-2].

تُصنّف أنظمة النقل الهوائي إلى ثلاثة أصناف حسب المبدأ الفيزيائي المستخدم في النظام: أنظمة الضغط الموجب والسالب والمختلط.

يتكوّن نظام النقل من أجزاء رئيسية: أنابيب النقل والمروحة أو الضاغط وجهاز فصل المواد الصلبة عن الهواء وهو ما يُعرف بالسيكلون (Cyclone)، ومنظم قفل الهواء [1-2].

تتألف المطحنة من أربعة أقسام إنتاجية السيلو والصويل (قسم غربلة وغسيل الأقماع) والطحن والتعبئة، وتشمل خطي إنتاج، بطاقة إنتاجية للخط الواحد (4 tonne/hr)، وتعمل على مدار الساعة. يتألف قسم الطحن من ست طبقات بمساحة إجمالية ( $2592 \text{ m}^2$ ). تنتقل كومات الدقيق المتركمة في طبقات قسم الطحن يدوياً بوسائل تقليدية، كما تنظف هذه المساحة الكبيرة نسبياً مع الآلات والتجهيزات الكهربائية الموجودة في كلّ طبقة بوسائل تقليدية أيضاً.

ترافق عمليات الكوثر (معنى كلمة الكوثر لغة: الكثير المتراكم أو الملتفّ من كلّ شيء؛ اصطلاحاً: إعادة تدوير كومات الدقيق المتراكم إلى مكبات الطحن يدوياً)، وعمليات التنظيف التقليدية تتأثر لغبار الدقيق في الجو المحيط، ما يؤدي إلى زيادة احتمال حدوث الانفجارات الغبارية المدمرة، كالذي حصل في عام (1999)، كما

اذ:  $(L_{e_{bend}}, L_{ver}, L_{hor})$  الطول الأفقي الكلي للأنبوب، والطول الشاقولي الكلي، والطول المكافئ للأكواع حسب الترتيب.

يُحسب الطول المكافئ للكوع من المعادلة الآتية:

$$L_{e_{bend}} = \left( \frac{Kd}{4f'} \right) \dots \dots \dots (2)$$

اذ:  $(K = 0.5)$  الفقد في السم،  $(f' = 0.0075)$  معامل الاحتكاك لأنواع الأكواع كلها لأنها ذات جدار داخلي خشن.  $(d)$ ، قطر الأنبوب  $[m]$ .

5- تحديد سرعة دخول الهواء للأنبوب  $(C_1)$ . السرعة الدنيا للهواء من أجل دقيق القمح  $(C_{min} = 15 \text{ m/s})$ . يُضاف إليها (20%) عامل أمان، وذلك لحساب  $(C_1)$  [1-2]. لاحظ الجدول (1).

ثانياً- حساب المتغيرات التصميمية للنظام:

1- يُحسب تدفق الهواء الكتلّي من المعادلة الآتية [1-2].

$$m_a = \frac{\pi p_1 C_1 d^2}{4RT_1} \dots \dots \dots (3)$$

اذ:  $(R = 0.287 \text{ kJ/kg.K})$  ثابت الهواء.

$(T_1 = 288 \text{ K})$   $(15^\circ \text{ C})$  درجة حرارة الهواء المطلقة.

$(p_1 = p_{atm})$  في نظام الضغط السالب.

2- يُحسب التدفق الحجمي من المعادلة الآتية:

$$V = 2.23 \times \frac{p_1 d^2 C_1}{T_1} \dots \dots \dots (4)$$

3- حساب  $(\text{Solid Loading Ratio})$  نسبة تحميل

المادة الصلبة  $(\phi)$ ، تساوي هذه النسبة معدل تدفق المادة إلى معدل تدفق الهواء.

$$\phi = \frac{m_p}{3.6 m_a} \dots \dots \dots (5)$$

اذ:  $m_p$ : التدفق الكتلّي  $[4 \text{ tonne/hr}]$ .

(السيكلون)، وتحديد أبعاد منظم قفل الهواء (Air-Lock valve) أيضاً لنظام نقل هوائي لمادة دقيق القمح بحيث يحقق السيكلون ومنظم قفل الهواء معاً الطاقة الإنتاجية المطلوبة، وذلك بعد تصميم نظام النقل الهوائي وتنفيذه وإجراء التجارب العملية اللازمة.

### 3- خطوات التصميم:

#### أولاً- تحديد الثوابت التصميمية:

لتصميم أي نظام نقل هوائي يجب اتباع المراحل الآتية [1-5]: بعد تحديد نظام الضغط الواجب استخدامه (الضغط الموجب، والسالب، والمختلط)، وذلك حسب متطلبات العمل، نتبع ما يأتي.

1- تحديد الخصائص الفيزيائية للمادة الصلبة المراد نقلها ككثافة الجزيئات وحجمها.

**ملاحظة (1):** يُشار إلى حجم الجزيئات ببعد واحد أو بعدين أو ثلاثة أبعاد وفقاً لشكلها الهندسي منتظمة أم غير منتظمة [9-10] [1-2].

2- تحديد معدل التدفق الكتلّي المطلوب للمادة الصلبة (الطاقة الإنتاجية للنظام بحيث يتوافق مع الطاقة الإنتاجية للمطحنة).

3- تقدير قطر الأنبوب الناقل حسب الخبرة العملية.  
4- تحديد طول الأنبوب الكلي المكافئ، تحدّد مسافة النقل الكلية حسب الواقع العملي، وتتضمن المسافات الأفقية والشاقولية، وعدد الأكواع، والأشكال الهندسية لها، وزوايا انحنائها.

يحسب طول الأنبوب الكلي، والطول المكافئ للأكواع من المعادلة الآتية [6]:

$$L_e = L_{hor} + L_{ver} + L_{e_{bend}} \dots \dots \dots (1)$$

$$L_{e_{bend}} = L_{e_{bend1}} + L_{e_{bend2}} + L_{e_{bend3}} + L_{e_{bend4}} + L_{e_{bend5}}$$

تمثل:  $(\Delta p_{mis})$  انخفاضات أخرى في النظام،  
كانخفاض الضغط في السيكلون.  
\* يُحسب معامل احتكاك المادة الصلبة بجدار الأنبوب  
بالمعادلة الآتية:

$$f_s = 0.0285(gd)^{0.5} C_p^{-1} \dots\dots\dots(7)$$

\* يُحسب معامل الاحتكاك (Fanning friction factor)  
من المعادلة الآتية [1-3] [7] :

$$f = \frac{0.331}{\log\left(\frac{R_a}{3.7d} + \frac{7}{Re}\right)^2} \dots\dots\dots(8)$$

اذ:  $R_a = 0.26$  [mm]: خشونة الحديد.

\* تُحسب سرعة جزيئات الدقيق للاتجاهين الأفقي  
والشاقولي بالمعادلتين الآتيتين حسب الترتيب:

$$C_p = 0.8 C_1 \dots\dots\dots(9)$$

$$C_p = 0.7 C_1 \dots\dots\dots(10)$$

وتُسمى النسبة  $(C_p/C_1)$  (Slip Ratio) بنسبة  
الانزلاق وتساوي (80%)، وذلك بسبب انخفاض سرعة  
جزيئات المادة الصلبة عن سرعة الهواء.

\* تُحسب كثافة الهواء بالمعادلة الرياضية الآتية:

$$\rho_g = \frac{m_a}{V} \dots\dots\dots(11)$$

اذ:  $m_a$ : معدل التدفق الكتلي [kg/s].  $V$ : معدل  
التدفق الحجمي [m<sup>3</sup>/s].

\* يُحسب معامل امتلاء الأنبوب بالمعادلة الآتية:

$$\varepsilon = 1 - \frac{4\phi}{\pi C_p \rho_p} \dots\dots\dots(12)$$

اذ:  $(\phi)$ ، نسبة تحميل المادة الصلبة

\* يُحسب رقم رينولدز من المعادلة الآتية:

$$Re = \frac{\rho_g C d}{\mu} \dots\dots\dots(13)$$

اذ:  $(\mu)$  اللزوجة الديناميكية للهواء.

$$\mu = 1.983 \times 10^{-5} \text{ [kg/m.s]}$$

4- حساب قيمة انخفاض الضغط الكلي للنظام  
 $(\Delta p_{tot})$ . يُحسب انخفاض الضغط الكلي للنظام من  
المعادلة رقم (6) الآتية [1-5]:

$$\Delta p_{tot} = \Delta p_{(acc)_g} + \Delta p_{(acc)_s} + \Delta p_s + \Delta p_g + \Delta p_{mis}$$

يمثل الحد الأول قيمة انخفاض الضغط في النظام  
نتيجة تسارع الهواء.

$$\Delta p_{(acc)_g} = \rho_g \varepsilon g L$$

اذ:  $\rho_g$ : كثافة الغاز (الهواء) [kg/m<sup>3</sup>].  $\varepsilon$ : معامل  
امتلاء الأنبوب، ويُحسب من المعادلة (12).  $g$ : تسارع  
الجاذبية الأرضية.  $L$ : الطول المكافئ للأنبوب [m].  
يمثل الحد الثاني قيمة انخفاض الضغط في النظام  
نتيجة تسارع المادة الصلبة.

$$\Delta p_{(acc)_s} = \rho_p (1 - \varepsilon) g L$$

اذ:  $\rho_p$ : كثافة الجزيئات (لاحظ الجدول (1)).

$L$ : الطول المكافئ للنظام حتى نهاية مقطع الأنبوب  
رقم (18) بسبب فصل المادة الصلبة عن الهواء، (لاحظ  
الجدول (2)).

يمثل الحد الثالث انخفاض الضغط في النظام نتيجة  
احتكاك المادة الصلبة بجدار الأنبوب.

$$\Delta p_s = f_s \rho_p L (1 - \varepsilon) \frac{C_p^2}{2d}$$

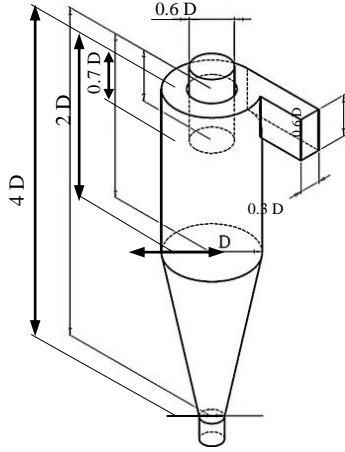
اذ:  $f_s$ : معامل الاحتكاك للمادة الصلبة ويُحسب من  
المعادلة رقم (7).  $C_p$ : سرعة جزيئات الدقيق. [m/s].  
وتُحسب من المعادلتين (9) و(10).  $d$ : قطر الأنبوب. [m].  
في حين يمثل الحد الرابع انخفاض الضغط نتيجة  
احتكاك الهواء بجدار الأنبوب.

$$\Delta p_g = \frac{2fL\rho_g\varepsilon C^2}{2d}$$

اذ:  $f$ : معامل الاحتكاك (Fanning friction factor)  
ويُحسب من المعادلة (8) [-].



السيكلون ليخرج الهواء من فتحة السيكلون العلوية مخلفاً وراءه المادة الصلبة (الدقيق) التي تتجمع في منظم قفل الهواء ومن ثم إلى المخرج.



الشكل (2) الأبعاد التصميمية للسيكلون

بعد تحديد قطر السيكلون من خلال التجارب العملية نستنتج الأبعاد التصميمية الأخرى للسيكلون. يُبين الشكل (2) الأبعاد التصميمية للسيكلون بدلالة القطر [1]. إن تحديد قطر السيكلون من المهمات الصعبة، يمكن تحديد قطر السيكلون المناسب عن طريق التجارب العملية فضلاً عن ذلك الخبرة العملية في أنظمة النقل الهوائي، لأن السيكلون يمتلك خصوصية تصميمية تختلف باختلاف المادة الصلبة المنقولة (اسمنت، وسكر، ودقيق، وقمح، وغبار... إلخ). [11][13][15][18].

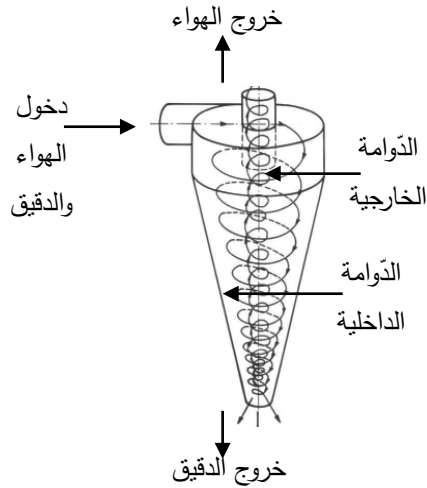
#### 5- منظم قفل الهواء (Air-Lock valve):

يتصل منظم قفل الهواء مباشرة بأسفل السيكلون، يتألف المنظم من جزء ثابت (الصندوق) أسطوانيّ الشكل بدائرة قطرها (2r) وارتفاع الأسطوانة (h)، ومحور الدوران الذي يتوضع عليه شفرات المنظم المتحركة، الحجم بين كل شفرتين يسمى بالحبيب أو (Pocket)، يختلف عدد الجيوب من منظم إلى آخر حسب تصميمه وبما يتناسب مع الطاقة الإنتاجية للمعمل. يوضّح الشكل (3) رسماً توضيحياً للمنظم وهو الأكثر استخداماً في العالم، يعمل في ظروف قاسية من الحرارة والضغط. للمنظم ثلاث مهمات أساسية: أمّا الأولى فهي تفريغ الدقيق وتنظيم تدفقه

#### 4- جهاز فصل المواد الصلبة عن الغاز:

تعريف السيكلون: هو جهاز يُستخدم لفصل المواد الصلبة من تيار الغاز أو السائل (Solid-Gas Separation Device) بواسطة قوة الطرد المركزي المطبقة على جزيئات المادة الصلبة.

يتكوّن السيكلون من قسمين علوي وسفلي: أمّا القسم العلوي فهو أسطوانيّ الشكل ويُعرّف بالبرميل، وأمّا السفليّ فهو مخروطيّ الشكل ويُعرّف بمخروط السيكلون. يُبين الشكل رقم (1) صورة توضيحية للسيكلون تظهر فيه حركة الهواء الدوامية [11-14].



الشكل (1) الحركة الدوامية للهواء

يعتمد جهاز فصل المواد الصلبة (الدقيق) عن الغاز (الهواء) في عمله اعتماداً أساسياً على قوة الطرد المركزي اذ يدخل الهواء إلى القسم العلوي بشكل مماسيّ مشكلاً بذلك حركة دوامية داخل جسم السيكلون [19-20]، يتابع الهواء حركته الدوامية داخل الجسم ليصل إلى المخروط مشكلاً دوامة خارجية، ينتج عن ازدياد سرعة الهواء في الدوامة الخارجية قوة طرد مركزية تؤدي إلى فصل الدقيق عن تيار الهواء الدوامي. يبدأ تيار الهواء النظيف بالصعود نحو الأعلى بشكل دائريّ بعد وصول الهواء إلى أسفل



الشكل (7) المروحة



الشكل (6) السيكلون

توصيل الأنابيب الأفقية كلها من السيكلون إلى المروحة من جهة، ومن السيكلون إلى الأنبوب الشاقولي من جهة ثانية. توصيل مخرج السيكلون والمنظم إلى غريال أسطواني موجود في المطحنة وذلك من أجل غريلة الدقيق. يُبين الشكل (8) مخرج السيكلون والمنظم إلى الغريال الأسطواني. كما يُبين الشكل (9) الغريال الأسطواني والحزونين الناقلين للدقيق والشوائب.



الشكل (9)

الغريال الأسطواني



الشكل (8)

مخرج السيكلون والمنظم

بعد ذلك ركبّت تحويلة بمخرجين، يُبين الشكلان

(10) و(11) التحويلة ومخرجيها، الأول مخرج الدقيق من السيكلون والمنظم إلى الغريال الأسطواني، والثاني مخرج غبار القمح والشوائب من السيكلون والمنظم إلى كيس، أو أي وعاء مخصص لاستلام الشوائب.



الشكل (11)

قاعدة استلام الشوائب

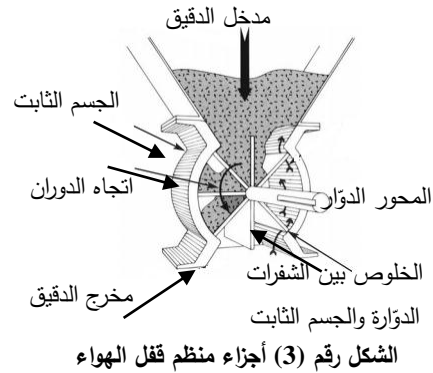


الشكل (10)

تحويلة بمخرجين

يُبين الشكل (12) مخططاً صندوقياً لنظام نقل الدقيق بالهواء في قسم الطحن.

من السيكلون إلى مجمع خارجي، وأما الثانية فهي حصر الهواء ومنع تسريه إلى داخل السيكلون. إنَّ تسرب الهواء عبر المنظم يؤدي إلى بطء في تدفق الدقيق إليه ومن ثمَّ انخفاض الطاقة الإنتاجية لنظام النقل كله، أما المهمة الثالثة فهي التوافقية بينه وبين السيكلون بحيث يحققان معاً الطاقة الإنتاجية المطلوبة ولتحقيق هذه الغاية يختار المنظم اعتماداً على النتائج التجريبية، وللخبرة العملية أيضاً دوراً مهم وبارز في اختيار المنظم وفي تصميم أنظمة النقل الهوائي وتنفيذها بشكل عام. [2]



الشكل رقم (3) أجزاء منظم قفل الهواء

## 6- التنفيذ:

تركيب أنبوب نقل الهواء من القبو حتى الطبقة الأخيرة بارتفاع شاقولي (18 m)، ومن ثمَّ تركيب المنظم وتنشيطه في مكانه المخصص.



الشكل (5)

المنظم ومخرجه



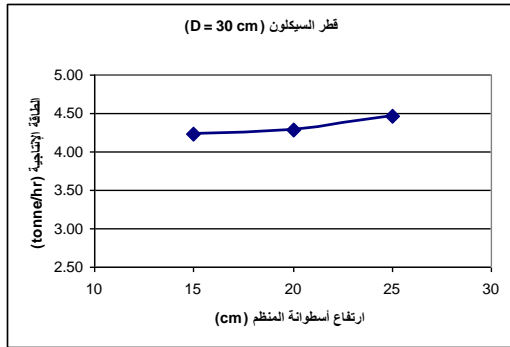
الشكل (4)

أنبوب النقل الشاقولي

يُبين الشكل (4) أنبوب النقل الشاقولي. كما يُبين الشكل (5) المنظم ومخرجه إلى الغريال الأسطواني. بعد ذلك تبتّ السيكلون فوق المنظم، يُبين الشكل (6) تثبيت السيكلون فوق المنظم. ومن ثمَّ تركيب المروحة والمحرّك الكهربائي في المكان المخصص، يُبين الشكل (7) مروحة الضغط مع مخرجها للوسط المحيط.







الشكل (13) تغير الطاقة الإنتاجية بتغير ارتفاع أسطوانة المنظم لسيكلون بقطر (30 cm)

#### التجربة الثانية:

ركب السيكلون الثاني بقطر (40 cm) وركب المنظم الأول وأجريت سبع تجارب، ومن ثم تركيب المنظم الثاني وإجراء سبع تجارب أيضاً، وأخيراً ركب المنظم الثالث وأجريت سبع تجارب مدة التجربة الواحدة (15 min) مع البقاء على السيكلون نفسه في التجارب كلها، وتحديد الطاقة الإنتاجية في كل تجربة، وحساب متوسط الطاقة الإنتاجية خلال ساعة، ورسم المخطط البياني. يُبين الجدول (4) التجارب العملية لسيكلون بقطر (D = 40 cm).

الجدول (4) التجارب على السيكلون (D = 40 cm)

السيكلون الأول بقطر (D = 40 cm)				
أبعاد المنظم		15×25	20×25	25×25
رقم التجربة	مدة التجربة	cm	cm	cm
1	15 min	0.9	1	1
2	15 min	0.9	0.9	0.9
3	15 min	1	1	1
4	15 min	0.9	0.85	1
5	15 min	0.9	1	0.9
6	15 min	1	0.9	1.1
7	15 min	0.9	1	0.85
المتوسط في (15 min)		0.93	0.95	0.96
المتوسط في (1 hr)		3.71	3.80	3.86

#### 7- التجارب العلمية

يعتمد تصميم أي نظام نقل هوائي بشكل عام على المعادلات الرياضية الخاصة بأنظمة النقل الهوائي والخبرة العملية والتجارب العملية أيضاً. تكمن الصعوبة في التصميم في تحديد قطر السيكلون المناسب لتحقيق الطاقة الإنتاجية المطلوبة، وكذلك تحديد أبعاد منظم قفل الهواء المناسب. ولتحديد قطر السيكلون وأبعاد المنظم لا بد من اختيار أربعة أقطار بالنسبة إلى السيكلون (D=30, 40, 50, 60 cm) وثلاثة منظمات بأبعاد (15×25cm) و(20×25 cm) و(25×25cm) إذ يمثل البعد الأول ارتفاع أسطوانة الجزء الثابت، ويمثل البعد الثاني قطر الأسطوانة وإجراء التجارب العملية وتحديد السيكلون والمنظم المناسبين بحيث يحققان معاً الطاقة الإنتاجية ( $m_p = 4 \text{ tonne / hr}$ ).

منوهين أنه خلال التجارب كلها تم الحفاظ على سرعة دوران ثابتة للمنظم (50 rpm)، والحفاظ على قطر ثابت أيضاً لأسطوانة المنظم (25 cm).

#### التجربة الأولى:

ركب السيكلون الأول بقطر (30 cm) وركب المنظم الأول وأجريت سبع تجارب، ومن ثم ركب المنظم الثاني وأجريت سبع تجارب أيضاً، وأخيراً ركب المنظم الثالث وأجريت سبع تجارب مدة التجربة الواحدة (15 min) مع البقاء على السيكلون نفسه خلال التجربة الأولى، وتحديد الطاقة الإنتاجية في كل تجربة، وحساب متوسط الطاقة الإنتاجية خلال ساعة، ورسم المخطط البياني. يُبين الجدول (3) التجارب العملية لسيكلون بقطر (D = 30 cm).

الجدول (3) التجارب على السيكلون (D = 30 cm)

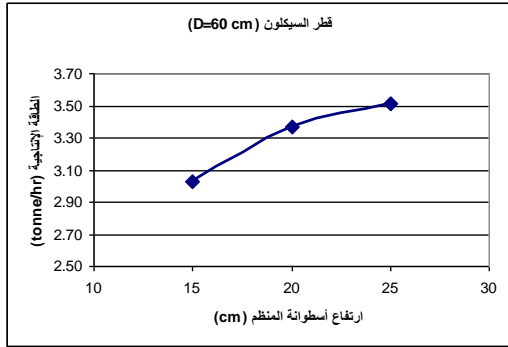
السيكلون الأول بقطر (D = 30 cm)				
أبعاد المنظم		15×25	20×25	25×25
رقم التجربة	مدة التجربة	cm	cm	cm
1	15 min	1.1	1.1	1.2
2	15 min	0.9	1	1.1
3	15 min	1.2	1.1	1.2
4	15 min	1	1.15	1
5	15 min	0.9	1	1.2
6	15 min	1.2	1.15	1.1
7	15 min	1.1	1	1
المتوسط في (15 min)		1.06	1.07	1.11
المتوسط في (1 hr)		4.23	4.29	4.46

### التجربة الرابعة:

ركب السيكلون الرابع بقطر (60 cm) وركبت المنظمات الثلاثة وأجريت التجارب السبع بالشروط نفسها كما في التجارب السابقة. يُبين الجدول (6) التجارب العملية (D = 60 cm).

الجدول (6) التجارب على السيكلون (D = 60 cm)

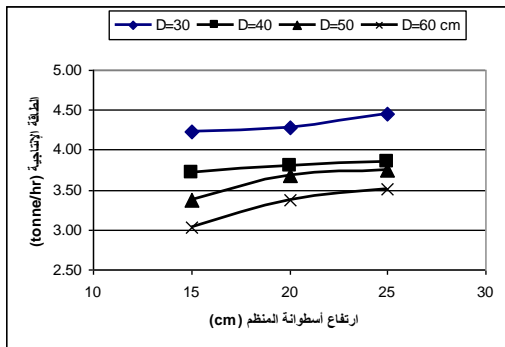
السيكلون الأول بقطر (D = 60 cm)				
أبعاد المنظم		15×25	20×25	25×25
رقم التجربة	مدة التجربة	cm	cm	cm
1	15 min	0.7	0.8	0.9
2	15 min	0.6	0.9	0.9
3	15 min	0.9	0.85	0.9
4	15 min	0.8	0.8	1
5	15 min	0.8	0.9	0.9
6	15 min	0.7	0.8	0.8
7	15 min	0.8	0.85	0.75
المتوسط في (15 min)		0.76	0.84	0.88
المتوسط في (1 hr)		3.03	3.37	3.51



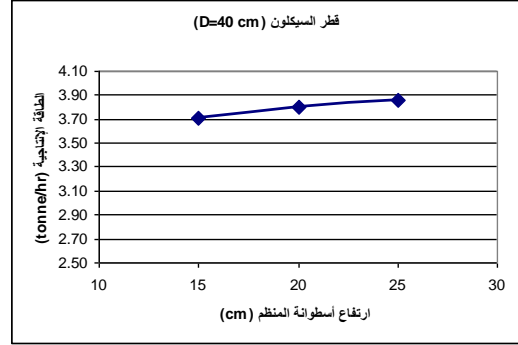
الشكل (16) تغيّر الطاقة الإنتاجية بتغيّر ارتفاع أسطوانة

المنظم لسيكلون بقطر (60 cm)

يُبين الشكل (17) تغيّر الطاقة الإنتاجية بتغيّر ارتفاع أسطوانة المنظم للسيكلونات الأربعة.



الشكل (17) تغيّر الطاقة الإنتاجية بتغيّر ارتفاع أسطوانة المنظم للسيكلونات الأربعة



الشكل (14) تغيّر الطاقة الإنتاجية بتغيّر ارتفاع أسطوانة

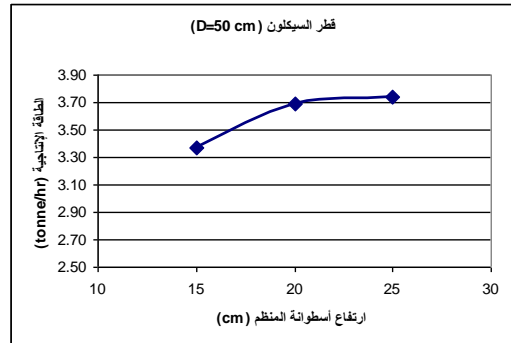
المنظم لسيكلون بقطر (40 cm)

التجربة الثالثة:

ركب السيكلون الثالث بقطر (50 cm) وركبت المنظمات الأول والثاني والثالث وأجريت التجارب بالشروط نفسها كما في التجريبتين السابقتين. يُبين الجدول رقم (5) التجارب العملية لسيكلون بقطر (D = 50 cm).

الجدول رقم (5) التجارب على السيكلون (D = 50 cm)

السيكلون الأول بقطر (D = 50 cm)				
أبعاد المنظم		15×25	20×25	25×25
رقم التجربة	مدة التجربة	cm	cm	cm
1	15 min	0.7	1	0.9
2	15 min	0.9	0.9	1
3	15 min	0.8	0.85	1
4	15 min	1	1	0.9
5	15 min	0.8	0.9	1
6	15 min	0.9	0.9	0.85
7	15 min	0.8	0.9	0.9
المتوسط في (15 min)		0.84	0.92	0.94
المتوسط في (1 hr)		3.37	3.69	3.74



الشكل (15) تغيّر الطاقة الإنتاجية بتغيّر ارتفاع أسطوانة

المنظم لسيكلون بقطر (50 cm)

## 8- مناقشة النتائج:

يُلاحظ من الشكل (13) أنه عند استخدام سيكلون بقطر (30 cm) تزداد الطاقة الإنتاجية إلى أكثر من (4 tonne/hr)، أي عدم وجود توافقية بين الطاقة الإنتاجية للسيكلون والمطحنة الأمر الذي يؤدي إلى حصول تخانيق في خط الإنتاج ومن ثم اخفاق النظام كلاً. يُلاحظ من الشكل (14) أنه عند استخدام سيكلون بقطر (40cm) تقترب طاقته الإنتاجية من (4tonne/hr)، وهذا يتوافق مع الطاقة الإنتاجية للمطحنة. يُلاحظ من الشكلين (15) و(16) أنه عند استخدام سيكلون بقطر (50 cm) و(60 cm) تنخفض الطاقة الإنتاجية لهما إلى ما دون (4 tonne/hr)، وهذا يؤدي إلى انخفاض الطاقة الإنتاجية للنظام بشكل عام. يُلاحظ من الأشكال (13) و(14) و(15) و(16) أنه مع زيادة قطر السيكلون تنخفض الطاقة الإنتاجية، وذلك بسبب زيادة قطر دائرة الدوامة الهوائية داخل السيكلون. إن الطاقة الإنتاجية للسيكلون متغيرة وتابعة لمتغيرات كثيرة منها: كثافة الجزيئات وحجمها ولزوجة الهواء، ونعومة الجدار الداخلي، وسرعة دخول الهواء للسيكلون، فمع زيادة كثافة الجزيئات وحجمها وزيادة سرعة دخول الهواء تزداد الطاقة الإنتاجية له، في حين تنخفض مع انخفاض المتغيرات السابقة، وتنخفض أيضاً مع زيادة لزوجة الغاز المستخدم.

كما يلاحظ من الأشكال (سابقة الذكر) أنه مع زيادة ارتفاع أسطوانة المنظم تزداد الطاقة الإنتاجية له، وذلك بسبب زيادة حجم الجيوب، الأمر الذي يؤدي إلى زيادة قدرتها الاستيعابية. تزداد الطاقة الإنتاجية للمنظم مع زيادة الحجم، وزيادة سرعة الدوران.

يُلاحظ من الشكل (17) أنه عند استخدام سيكلون بقطر (40 cm) ومنظم قفل هواء بأبعاد (25×25 cm) تتحقق الطاقة الإنتاجية المطلوبة (3.86 tonne/hr)، وهي قريبة جداً من الطاقة الإنتاجية للمطحنة.

## 9- النتائج:

بعد إتمام عملية التصميم وحساب المتغيرات التصميمية المطلوبة كلاً، والتنفيذ الكامل للمشروع، ومن خلال التجارب العملية توصلنا إلى النتائج الآتية:

1- قطر السيكلون الأمثل لنقل الدقيق في نظام النقل الهوائي، هو (D = 40 cm).

2- أبعاد منظم قفل الهواء المثلى والمتوافقة مع السيكلون هي (25×25 cm).

3- تحقيق الطاقة الإنتاجية المطلوبة من قبل السيكلون والمنظم والنظام بشكل عام.

4- أجريت عمليات نقل الدقيق من طبقات قسم الطحن كلاً بنجاح تام دون الحاجة إلى توقف الآلات، الأمر الذي يؤدي إلى زيادة الطاقة الإنتاجية.

5- إمكانية استخدام النظام الهوائي في عمليات تنظيف الأرضيات والزوايا الضيقة، وتنظيف الآلات والتجهيزات الكهربائية بفعالية عالية، والقضاء على البيئة الحاضنة للحشرات، والحد من استخدام مواد التعقيم السامة والخطرة التي تسبب تلوثاً للغذاء والهواء.

6- لا ينتج عن استخدام النظام تثاراً للغبار، الأمر الذي يحدّ من احتمال حدوث الانفجارات الغبارية المدمرة، ويحدّ أيضاً من إصابة العاملين بالأمراض المهنية الخطيرة.

7- سهولة الصيانة، وعمر فني طويل لعدم وجود أجزاء دوارة كثيرة فيه.

8- توفير الوقت والجهد، وتوفير في الأيدي العاملة، إذ يحتاج النظام لتشغيله عاملاً واحداً فقط.

9- المجال متروك أمام الباحثين لتحديد قطر السيكلون وتحديد أبعاد المنظم لنقل مادتي القمح والنخالة في المطاحن.

## REFERENCES

17. Anilkumar M., (2009) "Modeling and Analysis of Rotary Air-Lock Valve", international Journal of Computational Engineering Research., Vol. 03.
18. Fodora M., (2013) "Design of Laboratory Cyclone Separator For Biogas Purification., ACTA., Volume LXI.
19. Basic Principle., (2004) "Cyclone Chapter 4".
20. Gopani N., (2011) "Design of High Efficiency Cyclone for Tiny Cement Industry", International Journal of Environment Science and Development., Vol. 2, No. 5.
1. Mills D., (2004) "Pneumatic Conveying Design Guide", ELSIEVER BUTTERWORTH HEINEMANN. second Edition.
2. Yang W., (2003) "Handbook of Fluidization and Fluid-Practice Systems", Seimens Westinghouse Power Corporation Pittsburgh, Pennsylvania, U.S.A. Marcell Dekker.
3. Bahatia A., (2005) "Pneumatic Conveying System", Course No: M05-010, Credit: 5 PDH, Continuing Education and Development.
4. Agarwal A., (2005) "Theory and Design of Dilute Phase Pneumatic Conveying Systems", Vol. 17. No. 1.
5. Stefan E., (2013) "Central Vacuum systems basics", International Association of operative Millers.
6. Mueller C., (2003) "Engineering Information- Pipe resistance and Mueller Product Flow Data".
7. McGovern J., (2011) "Technical Note: Friction Factor Digrams for Pipe Flow", Dublin Institute of Technology.
8. Nazaroff A., (2010) "Gaseous Emission-Control Technologies",
9. Stringfellow A., (2009) "Relation of Wheat Hardness to Air-Classification Yields and Flour Particle size Distribution", cereal Chem.
10. Gaines C., (1985) "Associations Among Soft Wheat Flour Particle size, Protein Content, Chlorine Response, Kernel hardness, Milling Quality", White Layer Cake Volume, and Sugar-Snap Cookie Spread., CEREAL CHEMISTRY.
11. MHRD A., (2008) "Consideration of Cyclone Separators Centrifuges Separation Equipments". Chemical Engineering Design-2.
12. BENAVIDES A., (2012) "Cyclone Separators", specialization Course.
13. Ph.D, (2012) "Chapter 3. Cyclones".
14. WANG L., (2004) "Theoretical Study of Cyclone Design", Ph.D, Biological & Agriculture Engineering.
15. Oriaku, E., (2010) "Correlation Between Entry Velocity, Pressure Drop and Collection Efficiency in A designed Stairmands Cyclone". American Journal of Engineering Research (AJER), Vol-03.
16. SARAL A., (2012) "Cyclone separators", ISTANBUL.

Received	2016/09/07	إيداع البحث
Accepted for Publ.	2017/01/26	قبول البحث للنشر