

استخدام برنامج ماتلاب لتصميم جهاز تغويز الكتلة الحيوية

Design of a biomass gasification equipment by using MATLAB

عبد العاطي المهدي مطر^{1*}، جبريل سليمان الجروشي²
Abdelati M.Matar¹, Gibril S. Eljrushi²

^{2,1} كلية الهندسة، جامعة مصراتة، مصراتة، ليبيا
^{1,2} Faculty of Engineering, Misurata University, Misurata, Libya.

*Corresponding author: abdulati.matar@eng.misuratau.edu.ly

Received: October 25, 2022

Accepted: November 09, 2022

Published: November 11, 2022

الملخص

تعتبر الكتلة الحيوية (Biomass) أحد مصادر الطاقة المتجددة التي يمكنها تغطية جزء من الطلب العالمي المتزايد على الطاقة. حيث يمكن استخدام الكتلة الحيوية لإنتاج الغاز الاصطناعي المعروف بغاز المولدات (producer gas)، وهو الغاز الناتج من عملية الاحتراق الناقص للكتلة الحيوية الصلبة، وتسمى عملية إنتاج غاز المولدات عملية التغويز (gasification)، بينما يسمى الجهاز المستخدم في هذه العملية بالمغويز (gasifier). ويمكن استخدام غاز المولدات كوقود لتشغيل محركات الاحتراق الداخلي. تهدف هذه الورقة إلى تصميم مغويز سحب هابط نوع (Impert) باستخدام برنامج ماتلاب. حيث يقوم البرنامج بحساب أبعاد المغويز المناسب لإمداد محرك احتراق داخلي رباعي الأشواط- إشعال بالشرارة يستعمل غاز المولدات 100%، وذلك اعتماداً على معدل استهلاك المحرك للغاز.

الكلمات المفتاحية: الكتلة الحيوية، احتراق ناقص، تغويز، غاز المولدات، ماتلاب.

Abstract

Biomass is one of the renewable energy sources that can cover a part of the increasing global demand for energy. Biomass can be used to produce the synthetic gas known as “producer gas” by an incomplete combustion of solid biomass. Production of producer gas is called a gasification, while the device used in this process is called a gasifier. The producer gas can be used as fuel to run internal combustion engines. This paper aims to design a downdraft gasifier using Matlab software. The program calculates the dimensions of the appropriate gasifier to supply a spark ignition- four-stroke internal combustion engine that uses 100% producer gas.

Key words: biomass, gasification, producer gas, MATLAB

1. مقدمة:

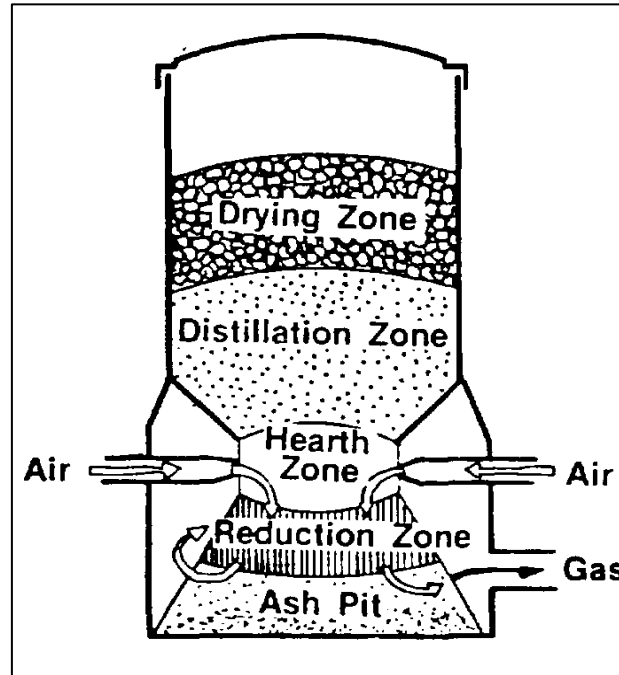
يطلق على الغاز الناتج من عملية الاحتراق الناقص للكتلة الحيوية الصلبة غاز المولدات، بينما تدعى عملية إنتاج غاز المولدات (producer gas) عملية التغويز (gasification)، وهي عبارة عن احتراق جزئي للوقود الصلب الحيوي، ويحدث في درجات حرارة بحدود 1000°C. وتجرى عملية التغويز بواسطة مفاعل يدعى بالمغويز (gasifier).

تحتوي نواتج عملية الاحتراق الكامل للكتلة الحيوية عموماً على النيتروجين، وبخار الماء، وثاني أكسيد الكربون، وأكسجين زائد. ولكن في حالة التغويز (احتراق ناقص) فإن نواتج الاحتراق عبارة عن غازات قابلة للاشتعال تشمل الهيدروجين (H₂)، وغاز أول أكسيد الكربون (CO)، وآثار من غاز الميثان (CH₄)، ومنتجات غير مفيدة كالمطران والغبار. ويتم إنتاج هذه الغازات بتفاعل بخار الماء وثاني أكسيد الكربون خلال طبقة فحم متوهجة [2,1].

ويمكن تصنيف المغوزات وفقاً لطريقة تقديم الهواء أو الأكسجين إلى المغوز، وعليه فإن المغوزات تصنف عملياً إلى ثلاثة أنواع رئيسية: أ- مغوز السحب الصاعد (Updraft Gasifier)، ب- مغوز السحب الهابط (Downdraft Gasifier)، ج- ومغوز السحب المستعرض (Crossdraft Gasifier).

ومن أكثر أنواع المغوزات شيوعاً والمستخدم لتغذية محركات الاحتراق الداخلي مغوز السحب الهابط نوع امبيرت (Imbert)، وهو عبارة عن جسم أنبوبي يدخل إليه وقود التغذية من القمة ويتجه نحو الأسفل مروراً بمختنق أو حلق المغوز- حيث تتم عملية الاحتراق- بينما يسحب الرماد والغاز من أسفل المغوز. ويوضح الشكل (1) رسماً تخطيطياً لمغوز سحب هابط نوع امبيرت [1،2،3].

يهدف هذا البحث إلى تصميم مغوز سحب هابط نوع (Imbert) باستخدام برنامج ماتلاب. حيث يقوم البرنامج بحساب أبعاد المغوز المناسب لإمداد محرك احتراق داخلي رباعي الأشواط- اشعال بالشرارة يستعمل غاز المولدات 100%، وذلك بحسب معايير التصميم وبيانات (FAO 1986) [2].



شكل (1): مغوز السحب الهابط

2. المتغيرات المرتبطة بعملية تصميم المغوزات:

أ. **النسبة المكافئة: Equivalence Ratio (ER)** وتعرف بأنها نسبة كمية الهواء الحقيقية اللازمة لكل كيلوجرام من الوقود الصلب إلى نسبة كمية الهواء النظرية اللازمة للاحتراق الكامل للوقود. وتمثل القيمة 0.4 القيمة المثالية للنسبة المكافئة في عمليات تغويز الخشب [4].

$$ER = \frac{(A/F)_{actual}}{(A/F)_{stoichiometric}} \quad (1)$$

، $(A/F)_{stoichiometric}$ نسبة الهواء إلى الوقود الحقيقية والنظرية على التوالي.

ب. **معدل التغويز النوعي (SGR): Specific Gasification Rate**: وهو معدل التدفق الحجمي للغاز المنتج نسبة إلى مساحة المقطع العرضي لحلق المغوز. وتتراوح قيمته ما بين (0.1 إلى 0.9 $Nm^3/cm^2.hr$) [5]. ويعبر عنه رياضياً بالمعادلة:

$$SGR = \frac{Q_g}{A_t} \quad (2)$$

حيث: Q_g = معدل تدفق الغاز المنتج، A_t = مساحة مقطع حلق المغوز.

ج. **معدل تدفق الوقود الصلب النوعي:** $Specific Solid Flow Rate (SSR)$ وهو معدل تدفق الكتلة الحيوية عبر حلق المغوز، وهو تعبير مشتق وبديل عن معدل التغويز النوعي (SGR)، ووحداته هي ($kg/cm^2.hr$) وحيث أن عملية تغويز واحد كيلوجرام من الخشب تعطي تقريبا 2.4 متر مكعب من الغاز [4,2]، فإن:

$$SSR = SGR/2.4 \quad (3)$$

3. تصميم منظومة تغويز باستخدام برنامج ماتلاب (MATLAB):

تمت كتابة برنامج بلغة ماتلاب ليقوم بحساب أبعاد مغوز السحب الهابط المناسب لإمداد محرك احتراق داخلي رباعي الأشواط إشعال بالشرارة يعمل بغاز المولدات 100%، وذلك بالاعتماد على معدل استهلاك المحرك للغاز، والذي يمكن حسابه على أساس نسبة الهواء إلى الوقود (الغاز) النظرية هي 1 : 1.1 على أساس الحجم [6,2]، وعليه فإن معدل تدفق الغاز الحجمي (Q_g) يحسب كما يلي:

$$Q_g = \frac{V_s}{2.1} \times \eta_v \quad (4)$$

حيث: V_s = معدل الإزاحة الحجمية للمحرك (m^3/s)، η_v = الكفاءة الحجمية للمحرك.

ومن معادلة معدل التغويز النوعي (معادلة 3)، يتم حساب مساحة مقطع حلق المغوز (A_t) ومن ثم حساب طول القطر الأصغر للمغوز أو قطر الحلق (d_{th}):

$$A_t = \frac{Q_g}{SGR} \quad (5)$$

وبمعلومية قطر الحلق يتم حساب أبعاد المغوز من خلال المخططات البيانية الممثلة للعلاقة بين قطر الحلق وأبعاد المغوز بحسب (FAO 1986) و (Kishore 2007) [6,2]، والموضحة في الملحق (أ) حيث تمت موائمة المنحنيات للحصول على العلاقات التالية:

$$\frac{h}{d_{th}} = 1.6336 \times \exp(-0.043d_{th}) \quad (6)$$

$$\frac{d_f}{d_{th}} = 3.465 \times \exp(-0.02d_{th}) \quad (7)$$

$$\frac{d_n}{d_{th}} = 2.621 \times \exp(-0.017d_{th}) \quad (8)$$

$$u_m = 22.265 \times \exp(0.0157d_{th}) \quad (9)$$

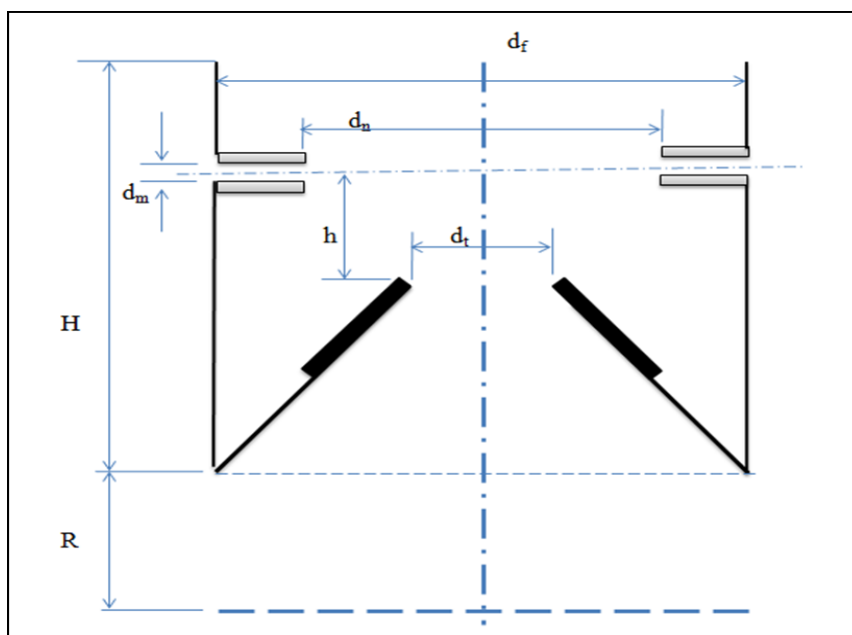
$$\frac{A_m}{A_{th}} = \frac{6.794}{100} \times \exp(-0.0151d_{th}) \quad (10)$$

حيث: d_n ، d_f ، d_{th} هي قطر حلق المغوز، وقطر الفرن الرئيسي، وقطر دائرة منافث الهواء على التوالي، h هو ارتفاع مستوى المنافث، u_m سرعة نفث الهواء، A_m هي المساحة المقطعية الاجمالية للمنافث، A_{th} هي مساحة مقطع الحلق. هذه الأبعاد موضحة بالشكل (2).

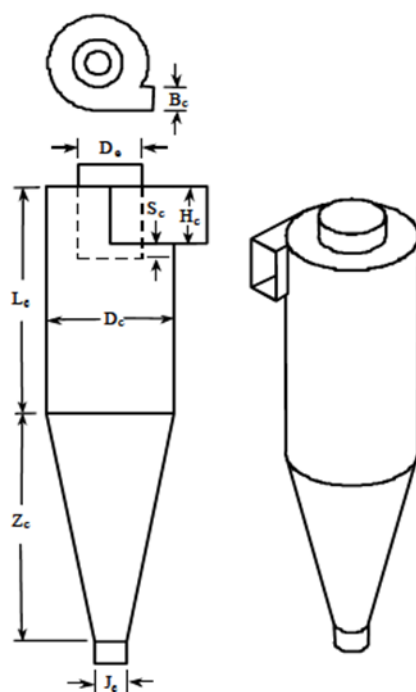
بالإضافة إلى ما سبق يقوم البرنامج بحساب أبعاد جهاز الفصل الدوامي الملحق بالمغوز، وذلك بحسب التصميم 2D2D (شكل 3-)، حيث يتم تحديد قطر أسطوانة الفاصل الدوامي وفق المعادلة (11) التالية:

$$D_c = \sqrt{\frac{8Q_c}{V_i}} \quad (11)$$

حيث D_c قطر أسطوانة الفاصل الدوامي، Q_c معدل التدفق الحجمي للغاز الداخل لجهاز الفصل، V_i سرعة دخول الغاز [8,7].



شكل (2): الأبعاد الرئيسية لمغز السحب الهابط [6]



2D2D

$$\begin{aligned} B_c &= D_c/4 & J_c &= D_c/4 \\ D_e &= D_c/2 & S_c &= D_c/8 \\ H_c &= D_c/2 & L_c &= 2 \times D_c \\ Z_c &= 2 \times D_c \end{aligned}$$

شكل (3): يوضح أبعاد الفاصل الدوامي حسب التصميم 2D2D [7]

أولاً: مدخلات البرنامج:

كما موضح بالشكل (4)، عند تشغيل البرنامج فإن البرنامج يطلب إدخال بيانات ومواصفات المحرك ووقود المغوز، وهذه البيانات هي:

- أقصى سرعة للمحرك (دورة /دقيقة) (rev/min).
- عدد أسطوانات المحرك وإزاحة الأسطوانة الواحدة بالسنتيمتر المكعب (cc).
- النسب الوزنية لمكونات الوقود الحيوي (Ultimate analysis).
- قيمة النسبة المكافئة ER، حيث $(1 > ER > 0)$.
- قيمة معدل التغويز النوعي (SGR)، (تتراوح ما بين 0.1 إلى 0.9 م³/سم².ساعة).

ثانياً: العمليات الحسابية للبرنامج:

- حساب معدل تدفق الغاز المطلوب للمحرك.
- حساب كمية الهواء النظرية اللازمة للإحتراق الكامل من خلال تفاعلات احتراق الوقود وبالتالي حساب كمية الهواء الحقيقية حسب النسبة المكافئة.
- حساب القطر الأصغر للمغوز (d_{th}).
- حساب أبعاد المغوز المناسب من خلال المعادلات (6 إلى 10).
- حساب قطر اسطوانة جهاز الفصل الدوامي (D_c) من المعادلة (11).

ثالثاً: مخرجات البرنامج:

كما موضح بالشكل (5) تتمثل مخرجات البرنامج في معدل التدفق الكتلي للهواء حسب النسبة المكافئة التصميمية، أيضاً تظهر أبعاد وبيانات المغوز والموضحة آنفاً في الشكل (2). كما تظهر في المخرجات أبعاد جهاز الفصل الدوامي المناسب للتدفق الحجمي للغاز. ويبين الشكل (6) المخطط الانسيابي لعمل البرنامج.

4. النتائج والمناقشة

تعتمد عملية تصميم المغوزات بشكل كبير على البيانات التجريبية، وبناء على ذلك يمكن إدراج تلك البيانات ضمن برنامج حاسوبي يعمل على تحديد حجم المغوز حسب معدل تدفق الغاز المطلوب.

وفي حالتنا هذه تمت عملية تحديد أبعاد مغوز سحب هابط بناء على احتياج محرك احتراق داخلي رباعي الأشواط، إشعال بالشرارة، أحادي الأسطوانة، سرعته القصوى 3000 دورة/دقيقة، إزاحة الأسطوانة: 0.208 لتر، وكفاءته الحجمية 80%. وبالتالي فإن أبعاد المغوز كما يلي:

البعد*	d_{th}	d_f	d_n	d_m	h	u_m	N
القيمة (سم)	6.02	18.5	14.25	0.6713	7.597	24.47	5

*حيث N عدد المنافذ، u_m سرعة النفط بالمتري/ثانية.

أما أبعاد جهاز الفصل الدوامي فتم حسابها بناءً على معدل تدفق الغاز عند مدخل جهاز الفصل، حيث درجة الحرارة في حدود 300⁰ س. وهذه الأبعاد بالسنتيمتر كما يلي:

Z_c	L_c	S_c	J_c	H_c	D_e	B_c	D_c
10	10	0.625	1.25	2.5	2.5	1.25	5

Inter Characteristics of engine & fule

Angular Velocity [rpm]:
3000

number of cylinder [unitless]:
1

displacement [cc]:
208

carbon wt% [%]:
49.46

hydrogen wt% [%]:
5.39

oxygen wt% [%]:
40.65

sulphur wt% [%]:
0.72

SGR [Nm³/cm².hr]:
0.25

Equivalent Ratio [unitless]:
0.4

OK Cancel

شكل (4): يوضح مدخلات البرنامج

MATLAB R2012a

File Edit Debug Parallel Desktop Window Help

Current Folder: C:\Users\AISata1217\Documents

Shortcuts How to Add What's New

```

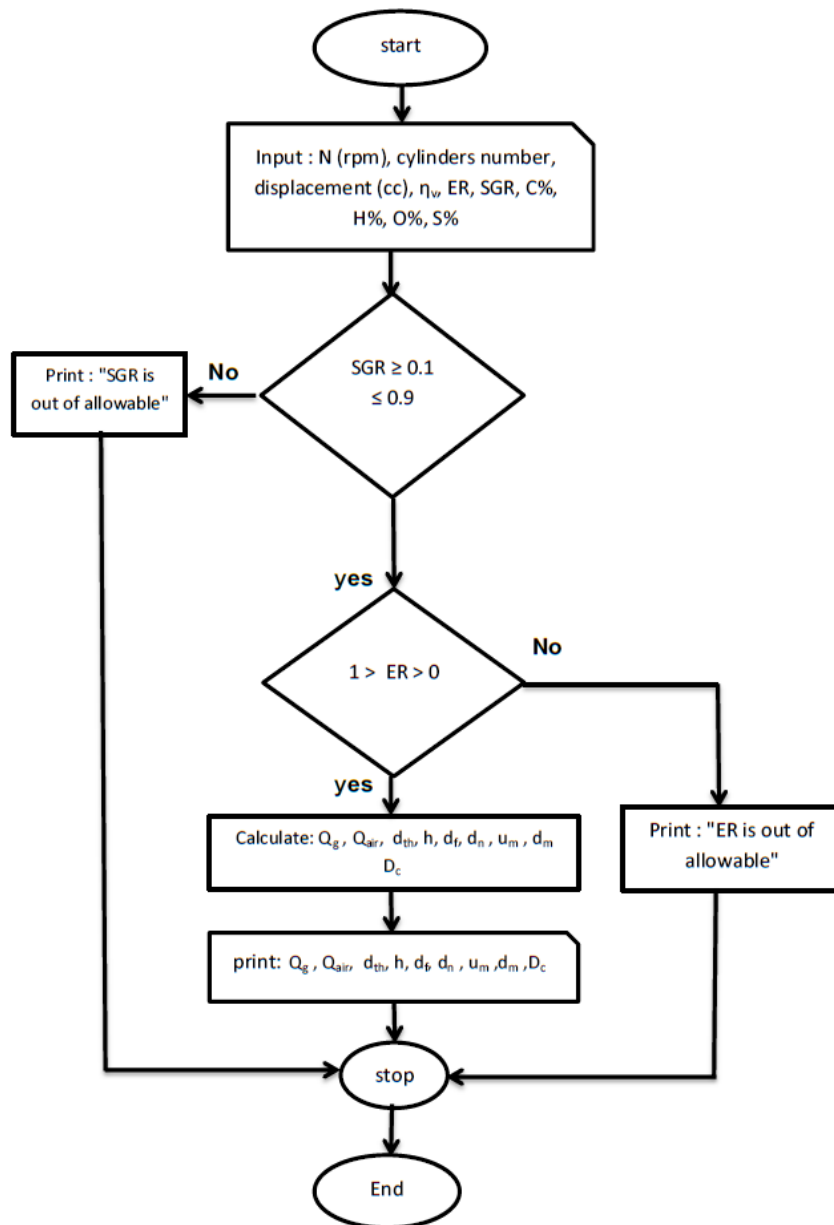
actual air mass flow rate in "kg/hr" =
6.7015

    dt      h      df      dn      Um      dm      nozzles
    6.0266   7.5976  18.5110  14.2490  24.4745  0.6713   5.0000

    Dc      Bc      De      Hc      Jc      Sc      Lc      Zc
    5.0000   1.2500   2.5000   2.5000   1.2500   0.6250  10.0000  10.0000

dimensions in cm & Um in m/s
fx >>
  
```

شكل (5): يوضح مخرجات البرنامج



شكل (6): المخطط الإنسيابي للبرنامج

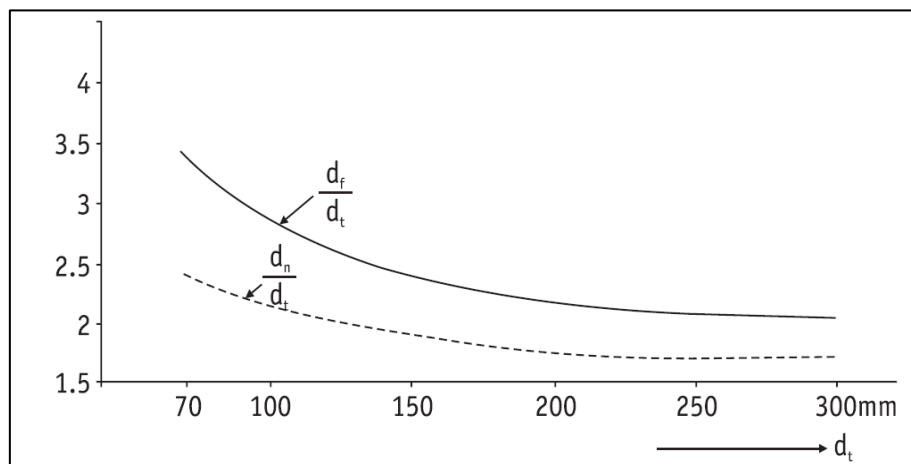
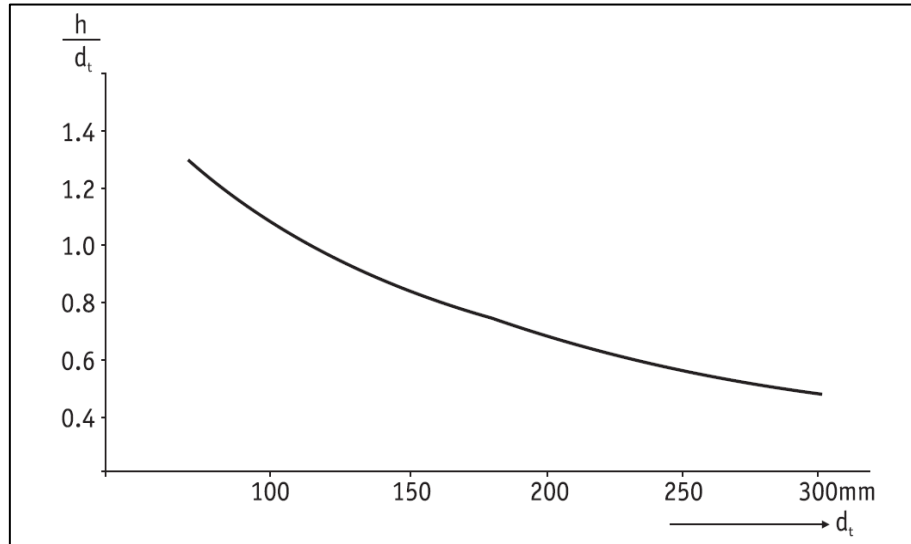
المراجع

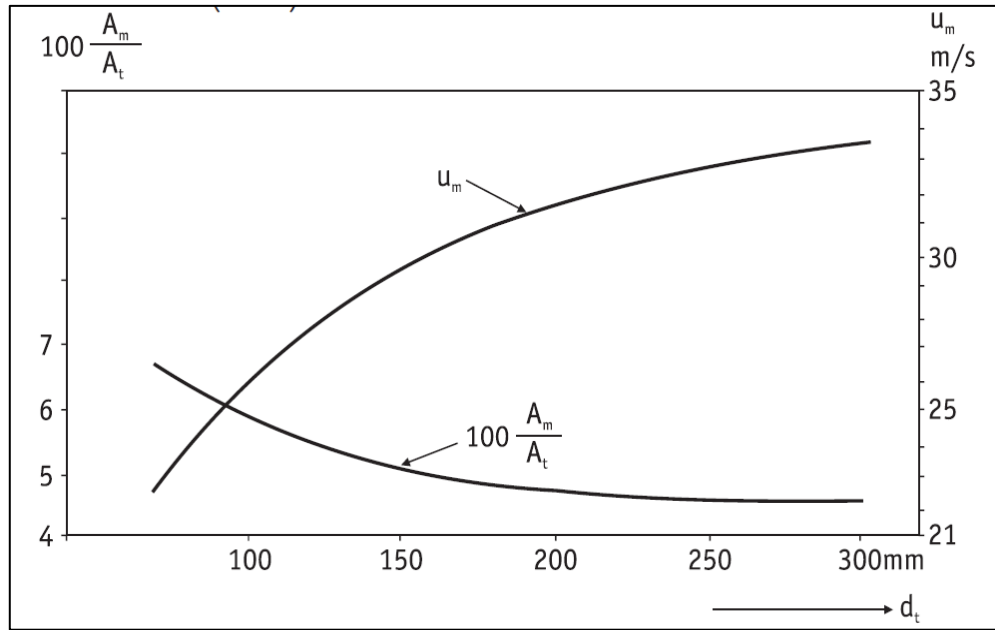
- [1] D. Yogi Goswami, "Alternative Energy in Agriculture", CRC Press, 1986, pgs. 83-102.).
- [2] FAO Forestry Paper 72, "wood gas as engine fuel", Rom 1986.
- [3] T. B. Reed, and A. Das, "Handbook of biomass downdraft gasifier engine systems," 1st Ed, SERI, U.S.A, 1988.
- [4] N. S. Samirkumar et al; " Design, development and experimental studies of downdraft gasifier" International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology 2018.
- [5] J. Venselaar, "Design Rules for Down Draft Wood Gasifiers: a Short Review," pp. 1–24, 1986.

- [6] V. V. N. Kishore, "Renewable energy engineering and technology", TERI press, 2007 .
- [7] Lingjuan Wang, " Theoretical study of cyclone design", Ph.D. dissertation, Texas A&M University 2004.
- [8] Muhammad I. Taiwo et al., "Design and analysis of cyclone dust separator", American Journal of Engineering Research (AJER), Vol-5, Issue-4, pp-130-134,2016, www.ajer.org.

الملحق (أ)

العلاقات بين قطر حلق المغوز وأبعاد ومتغيرات مغوزات السحب الهابط [6]





الملحق (ب)

MATLAB Gasifier design program code

```

clc
clear all
close all
% The Inputs of Program%
prompt = {'Angular Velocity [rpm]:' , 'number of cylinder [unitless]:' , 'displacement [cc]:' , 'carbon wt% [%]:' , 'hydrogen wt% [%]:' , 'oxygen wt% [%]:' , 'sulphur wt% [%]:' , 'SGR [Nm3/cm2.hr]:' , 'Equivelent Ratio [unitless]:'};
title = 'Inter Characteristics of engine & fule';
dims = [1 70];
definput = {'3000','1','208','49.46','5.39','40.65','0.72','0.25','0.4'};
answer = inputdlg(prompt,title,dims,definput);
Vect=str2double(answer);
clear title
N=Vect(1,1);%Engine speed (rpm)
n=Vect(2,1);%number of cylinder [unitless]%
d=Vect(3,1);%displacement [cc]
C=Vect(4,1);%carbon wt%
H=Vect(5,1);%hydrogin wt%
O=Vect(6,1);%oxigin wt%
S=Vect(7,1);%sulphur wt%
SGR=Vect(8,1);%Specific Gasification Rate [Nm3/cm2.hr]
ER=Vect(9,1);%Equivalence Ratio
Ev=0.8;%volumitric eff. of engine
if SGR < 0.1 || SGR > 0.9;
disp('SGR is not allowable'); break,end

```

```

if ER >= 1 || ER <=0;
disp('ER is not allowable'); break;end
% .....gasifier dimentions...."Swedish experience"..%
Vs=0.5*n*N*d*60*(10^-6); Qg=Ev*Vs/2.1; At=Qg/SGR;
dt=sqrt(4*At/pi);%throat diameter
StAF=((8/3)*C+8*H+S-O)/23;mf=Qg/2.5;%stAF is stoichiometric air/fuel ratio
actAF=ER*StAF;% actAF is actual air/fuel ratio
ma=mf*actAF;% ma is actual mass flow rate in kg/hr
disp('actual air mass flow rate in "kg/hr" ='),disp(ma)
h=1.6336*dt*exp(-0.043*dt);
df=3.465*dt*exp(-0.02*dt);
dn=2.621*dt*exp(-0.0171*dt);
Um=22.265*exp(0.0157*dt);
Am1=(6.794*At/100)*exp(-0.0151*dt);
if dt <=15,nozzles=5; else nozzles=7; end
Am=Am1/nozzles;
dm=sqrt(4*Am/pi);
disp(' dt h df dn Um dm nozzles')
gasf=[dt h df dn Um dm nozzles];
disp(gasf)
%... cyclon dimentions
vi=13;Tc=300; %...cyclon intering velocity & temprature
Qc=(573.15/273.15)*Qg;dc=(sqrt(8*Qc/(vi*3600)))*100;Dc=round(dc);
disp(' Dc Bc De Hc Jc Sc Lc Zc')
cyc=[Dc Dc/4 Dc/2 Dc/2 Dc/4 Dc/8 2*Dc 2*Dc];
disp(cyc)
disp('dimentions in cm & Um in m/s')
break

```