نمذجة الحساب الحراري لمحرك بنزيني في حالة الإغناء المسبق للشحنة بغازي الهيدروجين والأوكسجين باستخدام برنامج Matlab

ابراهيم صالح*، ابراهيم النسر، معن المخلف****

*طالب دراسات عليا (ماجستير) ، كلية الهندسة الميكانيكية، أكاديمية الأسد للهندسة العسكرية.

**كلية الهندسة الميكانيكية، أكاديمية الأسد للهندسة العسكرية

الملخص

تعتبر محركات الاحتراق الداخلي من أكثر المحركات انتشاراً، حيث بفضل تماسك ومتانة واقتصادية هذه المحركات وعمرها المديد، فإنها تستخدم في مجالات واسعة ومختلفة، كما أنها تعتبر المصدر الرئيسي للطاقة في آلات البناء ووسائط النقل، بعض السفن يتم تحريكها بعنفات غازية وكذلك الطائرات بمحركات نفاثة .

نظراً للتطور الهائل في مجال التصميم واستخدام الحاسوب في عملية التصميم كوسيلة تحقق سرعة في التصميم ودقة في الأداء، فقد قمنا بإعداد نموذج حاسوبي باستخدام لغة الـ Matlab للحساب الحراري والموازنة الحرارية لمحرك بنزين طبيعي في حالتين حالة محرك بدون خلية تحليل كهربائي للماء، ومحرك مع خلية تحليل كهربائي للماء لإغناء الشحنة بالأوكسجين والهيدروجين، كما تم حساب مؤشرات الأداء للمحرك ورسم منحنيات الأداء، والمقارنة بين النتائج وذلك بغية استنباط الحل الأمثل الذي يضمن استطاعة عالية للمحرك ومصروف أقل للوقود وبالتالي انخفاض التلوث الناتج عنه .

الكلمات المفتاحية: حساب حراري، نمذجة عددية، محرك بنزين.

ورد البحث للمجلة بتاريخ ا 2019/11/19

قبل للنشر بتاريخ ا 2020/1/20

The Modeling of the Thermal Calculation of Gasoline Engine Previously Charged by Hydrogen and Oxygen Gases Using the Matlab Program

Ibrahim Saleh*, Ibrahim Alnasser, Maan Almkhlef****

* Postgraduate Student (MSc.), Faculty of Mechanical Engineering, Al-Assad Academy of Military Engineering.

** Faculty of Mechanical Engineering, Assad Academy of Military Engineering

Abstract

The internal combustion engines are the most widespread thermal engines because of their solidarity, durability, long age and being economical. They are used in wide and different scopes, and they are considered the main source of energy in the building of machinery and transportation, as some ships move by gas turbines and planes by jet engines.

We must distinguish between two types of engines, by natural charging or by absorption of overcharging by a water electrolysis cell, in accordance with one or the other condition of engine exploitation.

In view of the large-scale development in design and the use of computers in the design process for speed and accuracy in performance, we have prepared a programming mode using Matlab.

The main objective of this program was to get the thermal calculation and balancing of the gasoline engine working by both normal charging and overcharging by water electrolysis cell to enrich oxygen and hydrogen charge. The engine performance indicators were also calculated and performance curves were drawn. Then, the results were compared to find the optimal solution which ensures higher engine power and less fuel consumption, and accordingly, the pollution it produces reduces.

Key Words: Thermal calculations, Numerical Modelling, Gasoline Engine.

Received 19/11/2019
Accepted 20/1/2020

1- مقدمة :

إن ارتفاع أسعار الوقود عالمياً وازدياد مستوى التلوث البيئي شكل حافزاً قوياً لتطوير محركات الاحتراق الداخلي، مما استدعى البحث عن طرق جديدة ومبتكرة لزيادة اقتصادية ونظافة هذه المحركات.

من هنا تأتي أهمية هذا البحث وذلك من خلال تصميم برنامج حاسوبي خاص باستخدام لغة الـMatlab يضم كافة البارامترات المتعلقة بالمحرك، وإجراء اختبار على البرنامج في حالتين: حالة محرك بنزين طبيعي وحالة محرك بنزين مع إغناء مسبق للشحنة بغازي الأوكسجين والهيدروجين (باستخدام خلية تحليل كهربائي للماء) ومقارنة النتائج بغية الحصول على محرك باستطاعة عالية وعزم فعال أعلى، واستهلاك نوعي للوقود أقل، وما يترتب عليه من انخفاض التلوث البيئي.

2- أهمية البحث وأهدافه :

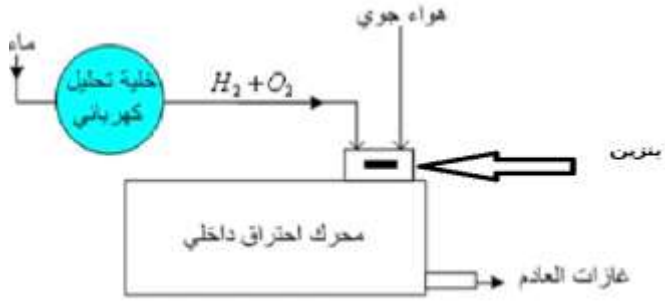
نظراً لازدياد عدد العربات بأنواعها بشكل كبير، والسعي الدؤوب للوصول إلى محرك ذي استطاعة عالية واستهلاك منخفض للوقود ومستوى تلوث بيئي منخفض، فان محور البحث يتمركز في إعداد نموذج رياضي لدراسة أداء وتحليل محرك الاحتراق الداخلي عند العمل في حالتين: الأولى دون إغناء الشحنة بغازي الأوكسجين والهيدروجين، والثانية مع إغنائها عند استخدام خلية تحليل كهربائي للماء.

3- طرائق البحث وموارده :

استخدمت في البحث طرق تحليلية في بناء النموذج الرياضي للحساب الحراري للمحرك في الحالتين كلتيهما، ثم تم بناء برنامج حاسوبي باستخدام البيئة البرمجية Matlab يمثل الحالات المدروسة حيث يمكّن البرنامج من إيجاد البارامترات المختلفة، وحساب مؤشرات الأداء ورسمها، ومقارنة النتائج.

4- اغناء الشحنة الداخلة الى المحرك باستخدام خلية التحليل الكهربائي للماء:يوضح الشكل(1) مخطط ربط خلية التحليل الكهربائي مع محرك الاحتراق الداخلي.

حيث يتم إعداد خليط غازي جديد مكون من بخار الوقود (بنزين)، والهواء وغازي الأوكسجين والهيدروجين المنطلقين من خلية التحليل الكهربائي.



الشكل (1) مخطط ربط خلية التحليل الكهربائي للماء على المحرك.

5- الحساب الحراري والموازنة الحرارية لمحرك بنزين رباعي الأشواط رباعي الأسطوانات [1,2,3]:

- **كمية الهواء اللازمة نظرياً لحرق (1Kg) من الوقود (L_o) بشكل تام:**

بفرض أن تركيب الوقود كما يلي : $C = 0.855$, $H = 0.145$, $O_2 = 0$ (بنزين) فيكون لدينا:

$$L_o = \frac{1}{0.208} \cdot [\frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O}{32}] \quad (1)$$

- **كمية الشحنة القابلة للاحتراق (لـ 1 Kg من الوقود):**

$$M_1 = \alpha \cdot L_O + \frac{1}{\mu_f} \quad (2)$$

حيث: μ_f: الوزن الجزيئي للوقود . $\mu_f = 115 \ \frac{kg}{kmole}$

α: عامل فائض الهواء .

- **حساب كمية نواتج الاحتراق:**

$$M_2 = M_{CO} + M_{CO2} + M_{N_2} + M_{H2O} + M_{H_2} \quad (3)$$

حيث أن: M_{CO2} – كمية ثاني اكسيد الكربون الناتجة عن الاحتراق $\frac{kmol_{co2}}{kg_{fuel}}$

$$M_{CO2} = \frac{C}{12} - 2.\frac{1-\alpha}{1+K} \cdot 0.208 \cdot L_O \quad (4)$$

M_{CO} – كمية أول أكسيد الكربون الناتجة عن الاحتراق $\frac{kmol_{co}}{kg_{fuel}}$

$$M_{CO} = 2.\frac{1-\alpha}{1+K} \cdot 0.208 \cdot L_O \quad (5)$$

M_{H2O} – كمية بخار الماء الناتج عن الاحتراق $\frac{kmol_{H2O}}{kg_{fuel}}$

$$M_{H2O} = \frac{H}{2} - 2.K.\frac{1-\alpha}{1+K}.0.208.L_O \quad (6)$$

M_{H_2} – كمية الهيدروجين الناتج عن الاحتراق $\frac{kmol_{H2O}}{kg_{fuel}}$

$$M_{H2} = 2.K.\frac{1-\alpha}{1+K}.0.208.L_O \quad (7)$$

M_{N_2} – كمية النتروجين الناتج عن الاحتراق $\frac{kmol_{N2}}{kg_{fuel}}$

$$M_{N_2} = 0.792.\alpha.L_O \quad (8)$$

- **مؤشرات عملية الامتصاص:**

بفرض درجة حرارة الوسط وضغط الوسط المحيط:

$$T_O = 293\ K,\ P_O = 0.1\ MPa$$

- الكتلة النوعية لهواء الامتصاص وتحدد بالعلاقة التالية:

$$\rho_O = \frac{P_O.10^6}{R_a.T_O} \quad (9)$$

حيث: R_a –ثابت الغازات العام للهواء $(287\ J/kg.K)$.

- درجة حرارة الغازات المتبقية: حيث تكون T_r في محركات البنزين شبه ثابتة، لأن طبيعة المزيج العامل لا تتغير كثيراً مع الحمولة. تتغير قيمتها بالنسبة لمحركات ذات الاشتعال بالشرارة ضمن المجال $(T_r = 900 \div 1100\ K)$. بحيث يتم فرض قيمتها ضمن المجال، ويتم تصحيح القيمة في مرحلة ما بعد حساب بارامترات التمدد.
- تحديد ضغط الغازات المتبقية: إن ضغط الغازات المتبقية عند الاستطاعة الاسمية للمحرك يعطى بالعلاقة التالية :

$$P_{rn} = 1.18.P_O \quad (10)$$

$$A_p = \frac{(P_{rn} - P_{on}.\ 1.035).10^8}{n_N^2\ .\ P_O} \quad (11)$$

- يحدد ضغط الغازات المتبقية بدلالة سرعة الدوران كما يلي:

$$P_r = P_O.(1.035.A_p.10^{-8}.n^2) \quad (12)$$

- يعطى ارتفاع درجة حرارة الشحنة أثناء عملية الامتصاص بالعلاقة:

$$\Delta T = A_T.(110 - 0.0125.n) \quad (13)$$

$$A_T = \frac{\Delta T_N}{110-0.0125.n_N} \qquad (14)$$

حيث: ΔT_N – هي درجة حرارة تسخين الشحنة الجديدة عند سرعة الدوران الأسمية.

- يعطى هبوط الضغط أثناء الامتصاص كما يلي [4]:

$$A_n = \frac{\omega_{in}}{n_n} \qquad (15)$$

حيث أن : ω_{in} – السرعة الوسطى للهواء عند عنق صمام الامتصاص.

وهي واقعة في المجال $\omega_{in} = (50...130)\, m/s$.

اما قيمة هبوط الضغط الإجمالي كتابع لسرعة دوران المحرك فتعطى بالعلاقة:

$$\Delta P_a = \frac{(\beta^2 + \xi_{in}).A_n{}^2.n^2.\rho_K.10^{-6}}{2} \qquad (16)$$

حيث : β – معامل سرعة الشحنة .

ξ_{in} – معامل مقاومة مجرى الامتصاص ويؤخذ عادة معامل المقاومة الكلي للمجرى $\left[(\beta^2 + \xi_{in}) = 2.5...4\right]$.

كما أن : $\rho_K = \rho_O$ بسبب عدم وجود مشحن .

- حساب الضغط في نهاية الامتصاص:

$$P_a = P_O - \Delta P_a \qquad (17)$$

يعطى معامل الغازات المتبقية بالعلاقة التالية :

$$\gamma_r = \frac{T_O+\Delta T}{T_r} . \frac{\varphi_s .P_r}{\varepsilon .\varphi_{ch}. P_a - \varphi_s . P_r} \qquad (18)$$

ΔT – هي درجة حرارة تسخين الشحنة الجديدة ، T_r – هي درجة حرارة الغازات المتبقية,

φ_s – معامل تنظيف الاسطوانة . φ_{ch} – معامل اتمام الشحن .

$\varphi_s = 1$ و $\varphi_{ch} = 1.11$ للشحن الطبيعي، ε – نسبة الانضغاط

- درجة الحرارة في نهاية الامتصاص :

$$T_a = \frac{(T_O+\Delta T+\gamma.T_r)}{1+\gamma_r} \qquad (19)$$

- يعطى معامل الملء أو مردود الشحن كما يلي:

$$\eta_v = \frac{T_O}{T_O+\Delta T} . \frac{1}{\varepsilon-1} . \frac{1}{P_O} . (\varepsilon . \varphi_{ch}. P_a - \varphi_s . P_r) \qquad (20)$$

- **مؤشرات عملية الانضغاط :**

- يحدد الضغط في نهاية عملية الانضغاط بالعلاقة التالية :

$$P_c = P_a \cdot \varepsilon^{n_1} \quad (21)$$

حيث : K_1 –الأس الأديباتي للانضغاط , وكذلك $(n_1 = K_1 - 0.0001)$.

n_1 – الأس البوليتروبي لعملية الانضغاط .

- درجة الحرارة في نهاية الانضغاط :

$$T_c = T_a \cdot \varepsilon^{n_1 - 1} \quad (22)$$

- تحدد السعة الحرارية للهواء في نهاية الانضغاط من العلاقة التالية :

$$(mc_v)_{t_o}^{t_c} = 20.6 + 0.638 \cdot 10^{-3} \cdot t_c \quad (23)$$

حيث : $t_c = T_c - 273\ c^o$

- تحسب السعة الحرارية للمزيج في نهاية شوط الانضغاط من العلاقة:

$$(mc'_v)_{t_o}^{t_c} = \frac{1}{1+\gamma_r} \cdot [(mc_v)_{t_o}^{t_c} + \gamma_r \cdot (mc_v")_{t_o}^{t_c}] \quad (24)$$

حيث: $(mc'_v)_{t_o}^{t_c}$– السعة الحرارية للغازات المتبقية في نهاية الانضغاط وهي قيمة جدولية بدلالة درجة الحرارة في نهاية شوط الانضغاط وعامل فائض الهواء .

- **مؤشرات عملية الاحتراق :**

- معامل التغير المولي النظري ويعطى بالعلاقة :

$$\mu_o = \frac{M_2}{M_1} \quad (25)$$

- يعطى معامل التغير المولي الحقيقي كما يلي :

$$\mu = \frac{(\mu_o + \gamma_r)}{(1+\gamma_r)} \quad (26)$$

- يعبر عن كمية الحرارة الضائعة نتيجة الاحتراق غير التام للوقود بالشكل:

$$\Delta H_u = 119950 \cdot (1-\alpha) \cdot L_o \quad (27)$$

- تحدد حرارة احتراق المزيج العامل بالعلاقة:

$$H_{w.m} = \frac{(H_u - \Delta H_u)}{M_1 \cdot (1+\gamma_r)} \quad (28)$$

- تحسب السعة الحرارية لنواتج الاحتراق حسب العلاقة:

$$(mc_v")_{t_o}^{t_z} = \frac{1}{M_2} \cdot \left[M_{co_2}(mc_{v_{co_2}}")_{t_o}^{t_z} + M_{co}(mc_{v_{co}}")_{t_o}^{t_z} + M_{H2O}(mc_{v_{H2O}}")_{t_o}^{t_z} + M_{N2}(mc_{v_{N2}}")_{t_o}^{t_z} + M_{H2}(mc_{v_{H2}}")_{t_o}^{t_z}\right] \quad (29)$$

- تحدد درجة الحرارة في نهاية شوط الاحتراق بالشكل:

$$\xi_z \cdot H_{w.m} + (mc'_v)_{t_o}^{t_c} \cdot t_c = (mc_v'')_{t_o}^{t_z} \cdot t_z \qquad (30)$$

بالحل المشترك للمعادلتين (29) و(30) تنتج قيمة درجة الحرارة (t_z).

- حساب ضغط الغازات الأعظمي عند نهاية الاحتراق :

$$P_z = \frac{P_c \cdot \mu \cdot T_z}{T_c} \qquad (31)$$

- وبالتالي يكون الضغط الأعظمي الفعلي يعطى بالعلاقة التالية :

$$P_{za} = 0.85 \cdot P_z \qquad (32)$$

- يتم حساب نسبة الانضغاط (λ) بالشكل:

$$\lambda = \frac{P_z}{P_c} \qquad (33)$$

– **مؤشرات عملية التمدد**[5]:

- تعطى درجة الحرارية في نهاية عملية التمدد وفق الشكل:

$$T_b = \frac{T_z}{\varepsilon^{n_2-1}} \qquad (34)$$

- يعطى الضغط في نهاية عملية التمدد بالعلاقة:

$$P_b = \frac{P_z}{\varepsilon^{n_2}} \qquad (35)$$

حيث: n_2 – الأس البوليتروبي الوسطي لعملية التمدد.

- التأكد من درجة حرارة الغازات المتبقية T_r المفروضة سابقاً:

$$T'_r = \frac{T_b}{\sqrt[3]{P_b/P_r}} \qquad (36)$$

$$\Delta T_r = \frac{T'_r - T_r}{T_r} \qquad (37)$$

اذا كان نسبة الخطأ بالحساب ΔT_r أقل من 3% فهي ضمن الحدود المسموح بها, وبالتالي فإن درجة حرارة الغازات المتبقية T_r المفروضة في بداية الحساب صحيحة والحساب دقيق.

– – **المميزات الدليلية للمحرك:**

- يعطى متوسط الضغط الدليلي النظري للدارة بالعلاقة [6]:

$$P'_i = \frac{P_c}{\varepsilon-1} \cdot \left[\frac{\lambda}{n_2-1} \cdot \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_2-1}}\right) - \frac{1}{n_1-1} \cdot \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1-1}}\right)\right] \qquad (38)$$

- يحدد متوسط الضغط الدليلي بالشكل:

$$P_i = \varphi_r \cdot P'_i \qquad (39)$$

حيث أن : φ_r- عامل التدوير (التكوير) .

- يعطى المردود الدليلي (الجودة البيانية) للمحرك وفق العلاقة:

$$\eta_i = \frac{P_i \cdot l_o \cdot \alpha}{H_u \cdot \rho_o \cdot \eta_v} \quad (40)$$

- يحسب الاستهلاك النوعي البياني (الدليلي) للوقود بالمعادلة:

$$g_i = \frac{3600}{H_u \cdot \eta_i} \quad (41)$$

- **المؤشرات الفعالة للمحرك** [4]:

- السرعة الخطية للمكبس وتعطى بالعلاقة التالية:

$$V_{p.m} = \frac{S \cdot n}{30000} \quad (42)$$

- يحسب متوسط الضغط الميكانيكي من أجل محرك بنزين رباعي الاسطوانات ويحقق النسبة $\frac{S}{D} \leq 1$ وفق ما يلي:

$$P_m = 0.034 + 0.0113 \cdot V_{pm} \quad (43)$$

- يحسب متوسط الضغط الفعّال بالشكل:

$$P_e = P_i - P_m \quad (44)$$

- يعطى المردود الميكانيكي بالعلاقة:

$$\eta_m = \frac{P_e}{P_i} \quad (45)$$

- يحدد المردود الفعلي بالشكل:

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_m \quad (46)$$

- يعطى الاستهلاك النوعي الفعال للوقود كما يلي:

$$g_e = \frac{3600}{H_u \cdot \eta_e} \quad (47)$$

- **حساب مواصفات المحرك الأساسية**[7] :

- يحدد حجم الاسطوانة كما يلي:

$$V_L = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot S.i}{4 \cdot 10^6} \quad (48)$$

- تعطى الاستطاعة الفعالة بالمعادلة:

$$N_e = \frac{P_e \cdot V_L \cdot n}{30 \cdot \tau} \quad (49)$$

- يحدد معدل استهلاك الوقود بالشكل التالي:

$$G_f = g_e \cdot N_e \quad (50)$$

- يعطى العزم الفعال بالمعادلة:

$$M_e = \frac{N_e}{W} = \frac{3 \cdot 10^4}{\pi} \cdot \frac{N_e}{n} \quad (51)$$

- **الموازنة الحرارية لمحرك بنزيني** [4,7]:

- تعطى كمية الحرارة المعطاة للمحرك نتيجة الاحتراق بالعلاقة:

$$Q_o = \frac{H_u \cdot G_f}{3.6} \quad (52)$$

- تحدد كمية الحرارة المعادلة للعمل الفعال للمحرك وفق الشكل:

$$Q_e = 1000 \cdot N_e \quad (53)$$

- تحسب كمية الحرارة المعطاة إلى وسيط التبريد بالعلاقة:

$$Q_c = \frac{c \cdot i \cdot D^{1+2.m} \cdot n^m \cdot (H_u - \Delta H_u)}{\alpha \cdot H_u} \quad (54)$$

- تعطى كمية الحرارة المفقودة عن طريق غازات العادم بالمعادلة التالية:

$$Q_r = \frac{G_f}{3.6} \cdot [M_2 \cdot \{(mc_v")_{t_o}^{t_r} + 8.315\} - M_1 \cdot \{(mc_v)_{t_o}^{20} + 8.315\} \cdot t_o] \quad (55)$$

- تحدد كمية الحرارة المفقودة نتيجة عدم اكتمال احتراق الوقود بالعلاقة:

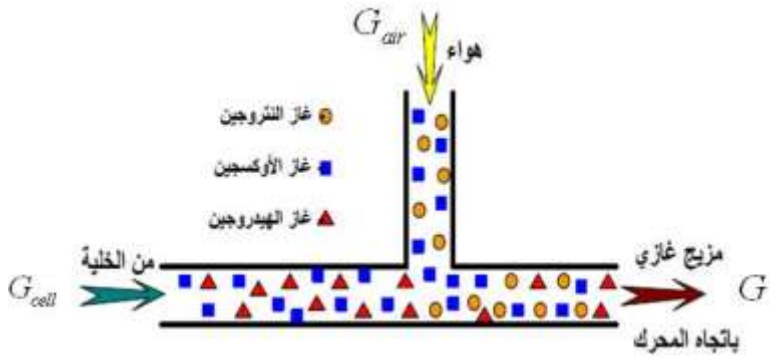
$$Q_{i,c} = \frac{\Delta H_u \cdot G_f}{3.6} \quad (56)$$

- تعطى كمية الحرارة المفقودة بالإشعاع وبنواحي أخرى وفق المعادلة:

$$Q_{etc} = Q_o - (Q_e + Q_c + Q_r + Q_{i,c}) \quad (57)$$

6- دراسة تراكيز مكونات المزيج الغازي الجديد المتدفق الى المفحم[8] :

يتشكل المزيج الغازي الجديد من خليط مكونات الهواء (اوكسجين ونتروجين)، مع غاز براون المنتج من خلال خلية التحليل الكهربائي والمكون من(هيدروجين وأوكسجين)، كما في الشكل (2) الذي يبين طريقة تشكيل المزيج الغازي الجديد المتدفق الى المفحم والمكون من (هيدروجين، اوكسجين، نتروجين).



الشكل (2) طريقة تشكيل المزيج الغازي الجديد المتدفق الى الفحم .

يتم حساب تراكيز كل غاز من مكونات المزيج الغازي وفق الطريقة التالية:

انطلاقاً من معادلة توازن المنظومة بين الدخل والخرج يمكن كتابة:

$$G = G_{cell} + G_{air} \qquad (58)$$

حيث:G– التدفق الحجمي للمزيج الغازي الداخل الى المفحم (m^3/hr).

G_{cell}– التدفق الحجمي للغاز المتدفق من خلية التحليل الكهربائي (m^3/hr).

G_{air}– التدفق الحجمي للهواء الجوي المتدفق الى المفحم (m^3/hr).

- نكتب معادلة توازن غاز الأوكسجين بين الدخل والخرج :

$$C_G^{O_2} . G = C_{air}^{O_2} . G_{air} + C_{cell}^{O_2} . G_{cell} \qquad (59)$$

حيث : $C_G^{O_2}$– تركيز غاز الأوكسجين في المزيج الغازي الجديد .

$C_{air}^{O_2}$– تركيز غاز الأوكسجين في الهواء $C_{air}^{O_2} = 0.208$.

$C_{cell}^{O_2}$– تركيز غاز الأوكسجين الناتج عن خلية التحليل الكهربائية .

نقسم طرفي المعادلة (59) على التدفق الحجمي للمزيج الغازي الجديد (G) فتصبح المعادلة على الشكل التالي:

$$C_G^{O_2} = C_{air}^{O_2} . \frac{G_{air}}{G} + C_{cell}^{O_2} . \frac{G_{cell}}{G} \qquad (60)$$

بفرض أن : $\frac{G_{cell}}{G} = \theta$. (61)

فتكون : $\frac{G_{air}}{G} = 1 - \theta$. (62)

بتعويض المعادلتين (61) و(62) بالمعادلة (60) نحصل على المعادلة التالية:

$$C_G^{O_2} = C_{air}^{O_2} . (1 - \theta) + C_{cell}^{O_2} . \theta \qquad (63)$$

في خلية التحليل الكهربائي وعلى اعتبار أن خرج الخلية مزيج من غاز الهيدروجين والأوكسجين، وبنسبة حجمين من الهيدروجين الى حجم واحد من الأوكسجين، فيكون تركيز الأوكسجين في التيار الناتج عن الخلية هو: $C_{cell}^{O_2} = 0.33333$.

بتعويض قيم تراكيز الأوكسجين في المعادلة (61) تصبح العلاقة بالشكل التالي:

$$C_G^{O_2} = 0.208 \,.(1-\theta) + 0.33333\,.\,\theta$$

بإصلاح المعادلة نحصل على ما يلي :

$$C_G^{O_2} = 0.208 + 0.12\,.\,\theta \qquad (64)$$

بالطريقة نفسها نكتب معادلة توازن غاز الهيدروجين بين الدخل والخرج:

$$C_G^{H_2}\,.\,G = C_{air}^{H_2}\,.\,G_{air} + C_{cell}^{H_2}\,.\,G_{cell} \qquad (65)$$

حيث: $C_G^{H_2}$– تركيز غاز الهيدروجين في المزيج الغازي الجديد .

$C_{air}^{H_2}$– تركيز غاز الهيدروجين في الهواء وهو معدوم تقريباً($C_{air}^{H_2} \approx 0$).

$C_{cell}^{H_2}$– تركيز غاز الهيدروجين في الغاز الناتج عن خلية التحليل الكهربائية.

نقسم طرفي المعادلة (65) على التدفق الحجمي للمزيج الغازي الجديد(G) فتصبح المعادلة على الشكل التالي:

$$C_G^{H_2} = C_{air}^{H_2}\,.\frac{G_{air}}{G} + C_{cell}^{H_2}\,.\frac{G_{cell}}{G} \qquad (66)$$

بتعويض المعادلتين (61) و (62) بالمعادلة (66) نحصل على المعادلة التالية :

$$C_G^{H_2} = C_{air}^{H_2}\,.\,(1-\theta) + C_{cell}^{H_2}\,.\,\theta \qquad (67)$$

في خلية التحليل الكهربائي وعلى اعتبار أن خرج الخلية مزيج من غاز الهيدروجين والأوكسجين، وبنسبة حجمين من الهيدروجين إلى حجم واحد من الأوكسجين فيكون تركيز الهيدروجين في الغاز الناتج عن الخلية هو : $C_{cell}^{H_2} = 0.666$.

بتعويض قيم تراكيز الهيدروجين في المعادلة (67) تصبح العلاقة بالشكل التالي:

$$C_G^{H_2} = 0\,.\,(1-\theta) + \frac{2}{3}\,.\,\theta$$

بإصلاح المعادلة نحصل على ما يلي:

$$C_G^{H_2} = \frac{2}{3}\,.\,\theta \qquad (68)$$

- نكتب معادلة توازن غاز النتروجين بين الدخل والخرج:

$$C_G^{N_2} \cdot G = C_{air}^{N_2} \cdot G_{air} + C_{cell}^{N_2} \cdot G_{cell} \quad (69)$$

حيث : $C_G^{N_2}$– تركيز غاز النتروجين في المزيج الغازي الجديد .

$C_{air}^{N_2}$– تركيز غاز النتروجين في الهواء $C_{air}^{O_2} = 0.792$.

$C_{cell}^{N_2}$– تركيز غاز النتروجين في الغاز الناتج عن الخلية, $(C_{cell}^{N_2} = 0)$.

نقسم طرفي المعادلة (69) على التدفق الحجمي للمزيج الغازي الجديد(G) فتصبح المعادلة على الشكل التالي:

$$C_G^{N_2} = C_{air}^{N_2} \cdot \frac{G_{air}}{G} + C_{cell}^{N_2} \cdot \frac{G_{cell}}{G} \quad (70)$$

بتعويض المعادلتين (60) و(61) بالمعادلة (69) نحصل على المعادلة التالية :

$$C_G^{N_2} = C_{air}^{N_2} \cdot (1 - \theta) + C_{cell}^{N_2} \cdot \theta \quad (71)$$

بتعويض قيم تراكيز النتروجين في المعادلة (70) تصبح العلاقة بالشكل التالي :

$$C_G^{N_2} = 0.792 \cdot (1 - \theta) + 0 \cdot \theta$$

بإصلاح المعادلة نحصل على ما يلي :

$$C_G^{N_2} = 0.792 \cdot (1 - \theta) \quad (72)$$

7- حساب الكتلة النوعية للمزيج الغازي الجديد (هواء وغاز براون) [8] :

إن الكتلة النوعية لأي مزيج غازي هي عبارة عن مجموع جداء تركيز كل غاز من مكوناته في وزنه النوعي ويعبر عن ذلك بالعلاقة التالية:

$$\rho_G = \sum_{i=1}^{n} \rho_i \cdot C_{X_i} \quad (73)$$

حيث: C_{X_i}– تراكيز العناصر الداخلة في تكوين المزيج الغازي، وهي في حالتنا (الأوكسجين والنتروجين والهيدروجين).

ρ_i – الكتلة النوعية لكل غاز من الغازات الداخلة في تكوين المزيج الغازي.

n – عدد الغازات المشكلة للمزيج الغازي وفي حالتنا $n = 3$.

تصبح المعادلة على الشكل التالي :

$$\rho_G = \rho_{O_2} \cdot C_{O_2}^G + \rho_{H_2} \cdot C_{H_2}^G + \rho_{N_2} \cdot C_{N_2}^G \quad (74)$$

نعوض المعادلات(64) ، (68) ، (72) بالمعادلة(74) فنحصل على المعادلة التالية:

$$\rho_G = \rho_{O_2} \cdot (0.208 + 0.12 \cdot \theta) + \rho_{H_2} \cdot (\tfrac{2}{3} \cdot \theta) + \rho_{N_2} \cdot 0.792 \cdot (1 - \theta) \quad (75)$$

وبما أن الكتلة النوعية لأي غاز تتعلق بدرجة حرارته على اعتبار أن الضغط الجوي هو $P_O = 0.1\ MPa$. نستطيع الحصول على علاقة الكتلة النوعية بدلالة درجة حرارة الوسط المحيط، لكل غاز من الجداول الترموديناميكية الخاصة به، وذلك بالاعتماد على طريقة التحليل التراجعي الرياضية (طريقة المربعات الصغرى) ، وبالتالي يمكن الحصول على العلاقات التجريبية التالية:

$$\rho_{o_2} = 3.7514555 - 0.01170373.T_O + 1.0494.10^{-5}.T_O^2 + 3.651.10^{-9}.T_O^3 \quad (76)$$

$$\rho_{N_2} = 5.3487838 - 0.030168316.T_O + 7.2695.10^{-5}.T_O^2 - 6.37.10^{-8}.T_O^3 \quad (77)$$

$$\rho_{H_2} = 0.31067644 - 0.0014970.T_O + 3.189\ .10^{-6}.T_O^2 - 2.536\ .10^{-9}.T_O^3 \quad (78)$$

8- الحساب الحراري لمحرك بنزيني رباعي الأشواط مع إغناء الشحنة بالهيدروجين والأوكسجين من خلال خلية تحليل كهربائي للماء:

- **الكمية الحجمية للمزيج الغازي الداخل إلى حجرة الاحتراق**

تعطى بالعلاقة التالية:

$$L = \frac{1}{(0.208+0.12\ .\theta)}\ .\ [\frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O}{32} + \frac{\theta}{6}] \quad (79)$$

- **الكمية الكتلية للمزيج الغازي الداخلة إلى حجرة الاحتراق تعطى بالعلاقة:**

$$l = \mu_G\ .L \quad (80)$$

حيث: μ_G- كتلة كيلومول من المزيج الغازي. [9]

$$\mu_G = \mu_{O_2}.(0.208 + 0.12\ .\ \theta) + \mu_{H_2}.(\frac{2}{3}\ .\ \theta) + \mu_{N_2}.0.792\ .(1 - \theta) \quad (81)$$

حيث أن : μ_{O_2} : الكتلة المولية للأوكسجين وهي تساوي $16 \times 2 = 32$.

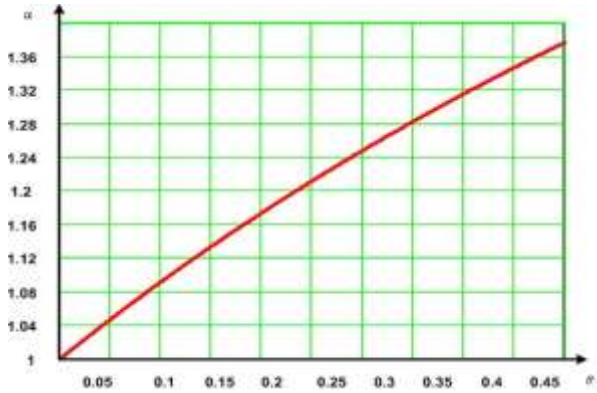
μ_{H_2} : الكتلة المولية للهيدروجين وهي تساوي $1 \times 2 = 2$.

μ_{N_2} : الكتلة المولية للنتروجين وهي تساوي $14 \times 2 = 28$.

- **معامل فائض الهواء** يعطى بالعلاقة:

$$\alpha = \frac{L}{L_O} \quad (82)$$

مع العلم أنه في حالة $\theta = 0$ فان $L = L_0$ وبالتالي $\alpha = 1$ فيكون من أجل أي قيمة لـ $\theta > 0$ فان $L > L_0$ وبالتالي $\alpha > 1$ يبين الشكل (3) تغير α بدلالة θ .



الشكل (3) تغير معامل فائض الهواء α بدلالة θ .

- **كمية الشحنة اللازمة لاحتراق 1Kg من الوقود:**

$$M_1 = \alpha \,.\, L + \frac{1}{\mu_f} \qquad (83)$$

حيث: μ_f- الوزن الجزيئي للوقود $\mu_f = 115 \ \frac{kg}{kg\,.\,mole}$.

- **حساب كمية نواتج الاحتراق :**

عندما $\alpha \leq 1$ يكون الاحتراق كاملاً لذلك تتألف نواتج الاحتراق الكامل من غاز ثاني أكسيد الكربون، بخار الماء، الأوكسجين الفائض، والآزوت، علماً أن **كمية المركبات المستقلة لنواتج احتراق الوقود السائل عندما $\alpha > 1$ يمكن حسابها** من العلاقات التالية:

$$M_{CO_2} = \frac{C}{12} \qquad (84)$$

حيث: M_{CO_2}- كمية غاز ثاني أكسيد الكربون $(\frac{Kmole_{co_2}}{Kg_{fuel}})$.

$$M_{H_2O} = \frac{H}{2} + \frac{\theta}{3} \qquad (85)$$

حيث: M_{H_2O}- كمية بخار الماء $(\frac{Kmole_{H2O}}{Kg_{fuel}})$.

$$M_{O_2} = (0.208 + 0.12\,.\,\theta).(\alpha - 1).L \qquad (86)$$

حيث: M_{O_2}- كمية الأوكسجين الفائض$(\frac{Kmole_{O2}}{Kg_{fuel}})$.

$$M_{N_2} = 0.792\,.\,\alpha\,.\,L_O \qquad (87)$$

حيث: M_{N_2}- كمية الآزوت $(\frac{Kmole_{N2}}{Kg_{fuel}})$.

عندها تكون الكمية العامة لنواتج الاحتراق الكامل للوقود السائل$(\frac{Kmole_{com.pr}}{Kg_{fuel}})$:

$$M_2 = M_{CO_2} + M_{H_2O} + M_{O_2} + M_{N_2} \qquad (88)$$

نتابع بعدها ايجاد بارامترات الحساب الحراري حسب القوانين السابقة مع مراعاة ما يلي:

- استبدال ρ_a للهواء بـ ρ_G للمزيج الغازي الذي بينا طريقة حسابه في الفقرة السابقة.
- استبدال μ_a للهواء بـ μ_G للمزيج الغازي الذي بينا طريقة حسابه في الفقرة السابقة.
- مراعاة أن $M_{CO} = M_{H2} = 0$ كون الاحتراق كامل.
- $(\Delta H_u = 0)$ انعدام الطاقة الحرارية الضائعة بسبب الاحتراق غير الكامل.

عند الوصول إلى حساب المميزات الدليلية للمحرك مع خلية تحليل كهربائية للماء عندئذ يتم حساب المردود الدليلي بالعلاقة التالية:

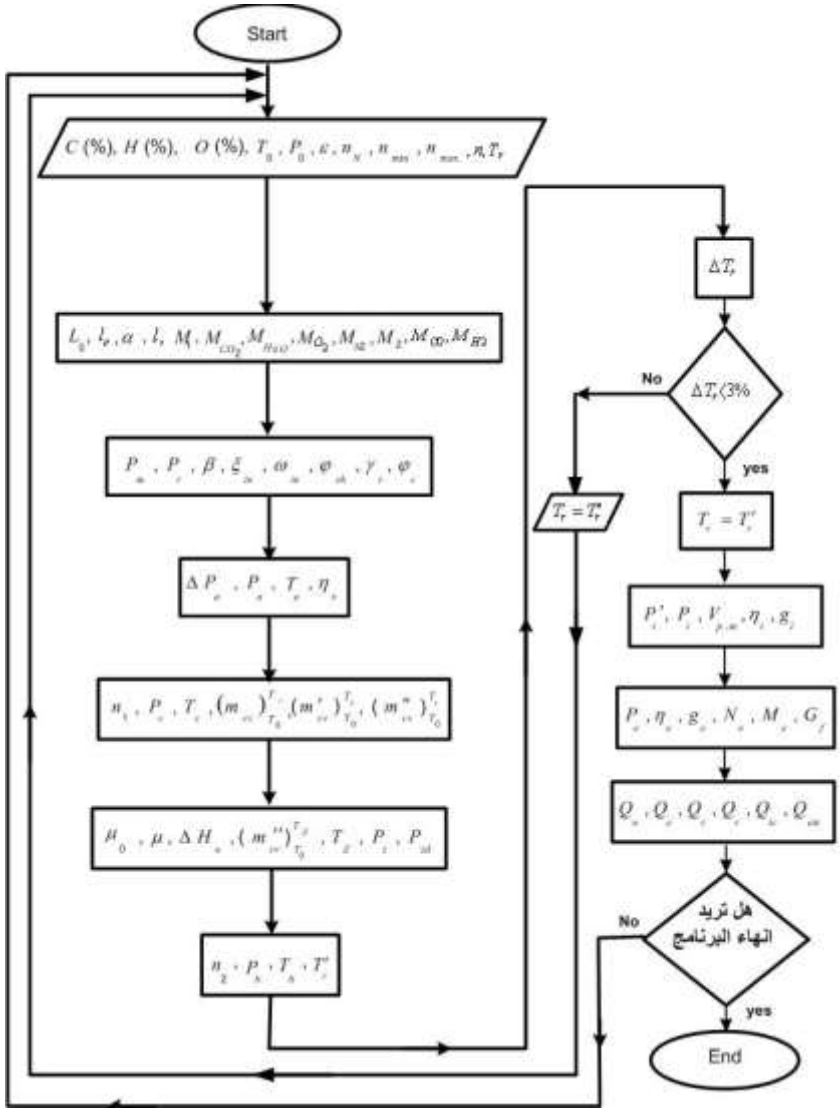
$$\eta_i = \frac{P_i \cdot l \cdot \alpha}{H_u \cdot \rho_o \cdot \eta_v} \qquad (89)$$

نتابع بعدها حساب باقي المميزات الدليلية والمؤشرات الفعلية والموازنة الحرارية للمحرك مع الخلية حسب القوانين السابقة.

<u>ملاحظة:</u> في الموازنة الحرارية وفي حالة الاغناء بالأوكسجين والهيدروجين تنعدم الطاقة الحرارية الضائعة، بسبب عدم اتمام الاحتراق الكامل للوقود كون المزيج غنيا بالأوكسجين والاحتراق كاملاً $Q_{i,c} = 0$.

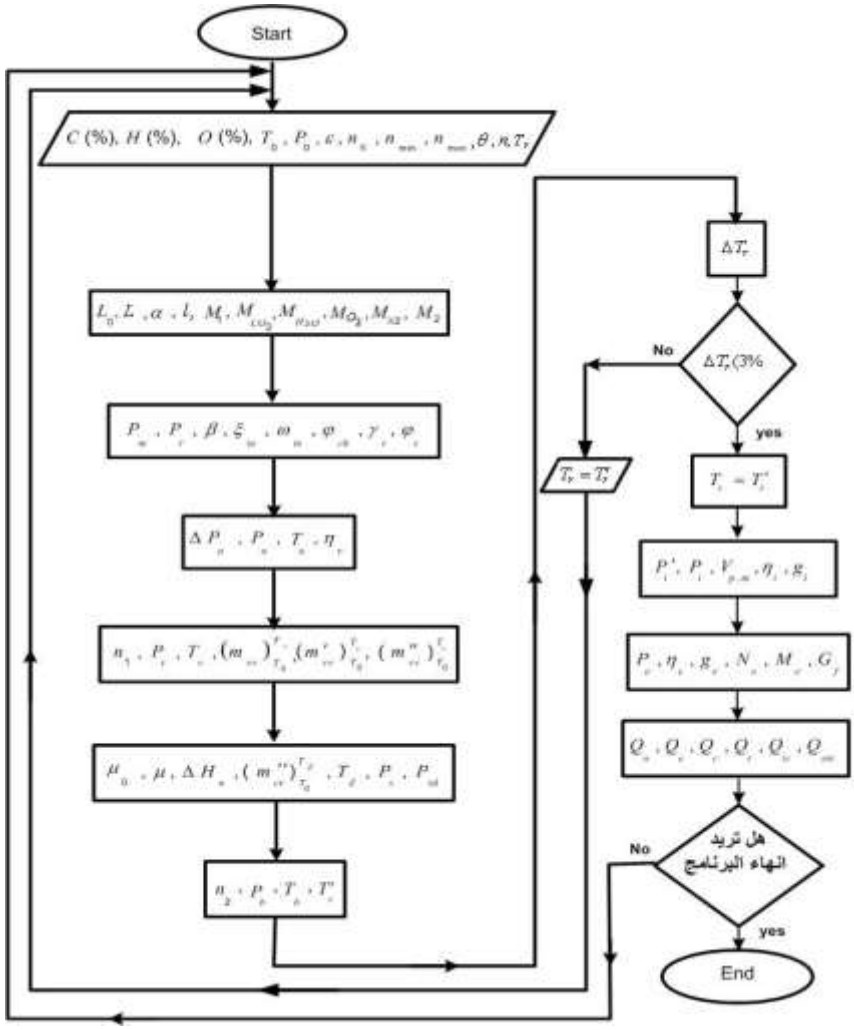
9- إنشاء المخططات الصندوقية لخوارزمية الحساب الحراري للمحرك البنزيني مع خلية تحليل كهربائية وبدونها:

يوضح الشكل (4) المخطط الصندوقي لخوارزمية الحساب الحراري للمحرك بدون خلية.



الشكل (4) المخطط الصندوقي لخوارزمية الحساب الحراري للمحرك بدون خلية.

يوضح الشكل (5) المخطط الصندوقي لخوارزمية الحساب الحراري للمحرك مع خلية تحليل كهربائي للماء.



الشكل (5) المخطط الصندوقي لخوارزمية الحساب الحراري للمحرك مع خلية.

10- النتائج والمناقشة :

عند تشغيل البرنامج واستخدام محرك بنزيني بالمواصفات التالية:

شحن طبيعي رباعي الأسطوانات رباعي الأشواط تبريد مائي وبنسبة انضغاط (8.5)،قياس الاسطوانة($78\times78mm$) وعند سرعة الدوران $n=2200\ r.p.m$ وضغط الوسط المحيط ($0.1MPa$) ودرجة حرارة ($293K$). الجدول(1) يبين نتائج الحساب الحراري لمحرك بنزيني دون خلية تحليل كهربائي للماء.

الجدول (1) نتائج الحساب الحراري لمحرك بنزيني دون خلية تحليل كهربائي للماء.

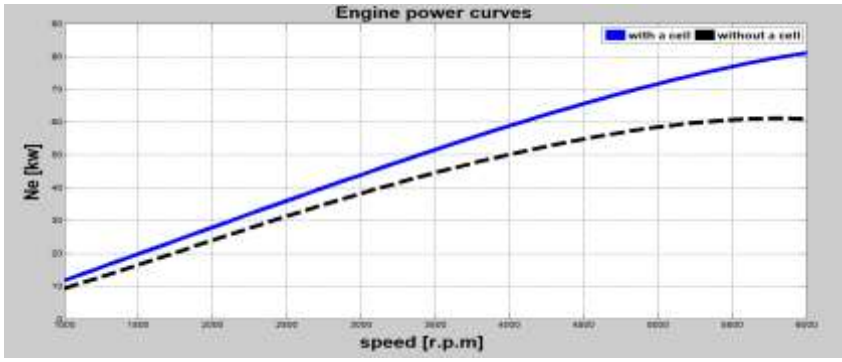
نوع الشوط		r	b	z	c	a	o
بارامترات الاشواط	k	$P_r = 0.1057$ $T_r = 971.19$	$P_b = 0.423$ $T_b = 1385$	$P_Z = 7.28$ $T_Z = 2806$	$P_c = 1.842$ $T_c = 752.7$	$P_a = 0.098$ $T_a = 339.3$	$P_O = 0.1$ $T_O = 293$
$\lambda = 3.95$				$\varepsilon = 8.5$			
المؤشرات الدليلية و الفعالة		$P_e = 0.985$ [MPa] , $\eta_e = 0.299$ $g_e = 273.811$ [gr/kw.h]				$P_i = 1.083$ [MPa] , $\eta_i = 0.329$ $g_e = 248.88$ [gr/kw.h]	
الموازنة الحرارية		$Q_o = 89918.2$ [J/S] $Q_c = 32926$ [J/S] , $Q_e = 26911.8$ [J/S] , $Q_r = 24578$ [J/S] , $Q_{ic} = 5317.95$ [J/S] , $Q_{etc} = 184.367$ [J/S]					
مؤشرات المحرك		$D = 78$[mm] , $S = 78$[mm] , $i = 4$, $n_N = 5600$[r.p.m] $N_e = 26.9118$ [kw] , $M_e = 116.813$ [N.m], $G_f = 7.369$ [kg/h] $\eta_v = 0.902$					

عند تشغيل البرنامج في حالة المحرك مع خلية التحليل الكهربائي وذلك بفرض نفس المعطيات السابقة مع الأخذ بعين الاعتبار عند السرعة (2200) تكون قيمة$\theta = 0.0335$. الجدول (2) نتائج الحساب الحراري لمحرك بنزيني مع خلية تحليل كهربائي للماء.

الجدول(2) نتائج الحساب الحراري لمحرك بنزيني مع خلية تحليل كهربائي للماء.

نوع الشوط		r	b	z	c	a	o
بارامترات الاشواط	k	$P_r = 0.1045$ $T_r = 956.324$	$P_b = 0.447$ $T_b = 1465$	$P_Z = 7.699$ $T_Z = 2967$	$P_c = 1.848$ $T_c = 741.1$	$P_a = 0.097$ $T_a = 334$	$P_O = 0.1$ $T_O = 293$
$\lambda = 4.166$				$\varepsilon = 8.5$			
المؤشرات الدليلية و الفعالة		$P_e = 1.134$ [MPa] , $\eta_e = 0.375$ $g_e = 218.692$ [gr/kw.h]				$P_i = 1.188$ [MPa] , $\eta_i = 0.393$ $g_i = 208.694$ [gr/kw.h]	
الموازنة الحرارية		$Q_o = 82906.2$ [J/S] $Q_c = 32430.9$ [J/S] , $Q_e = 31067.1.8$ [J/S] $Q_r = 23783.8$ [J/S] , $Q_{ic} = 0$, $Q_{etc} = 4374.4$ [J/S]					
مؤشرات المحرك		$D = 78$[mm] , $S = 78$[mm] , $i = 4$, $n_N = 5600$[r.p.m] $N_e = 31.067$ [kw] , $M_e = 134.85$ [N.m] , $G_f = 6.794$ [kg/h] $\eta_v = 0.928$					

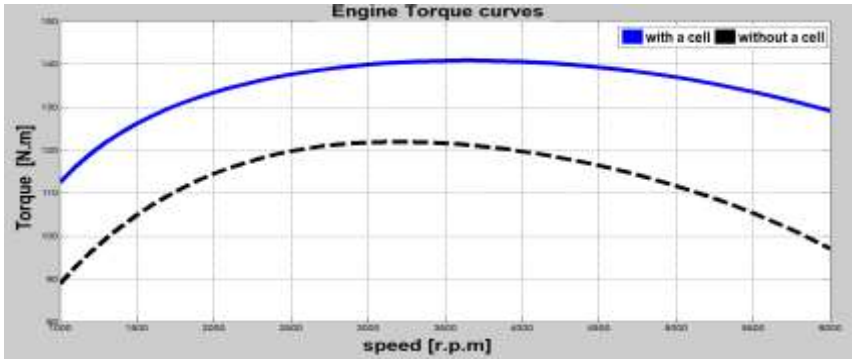
تم رسم نتائج النمذجة الحاسوبية على شكل منحنيات بيانية. يبين الشكل(6) علاقة الاستطاعة الفعلية كتابع لسرعة الدوران للمحرك في الحالتين. يلاحظ من الشكل



الشكل(6) علاقة الاستطاعة الفعلية كتابع لسرعة الدوران للمحرك في الحالتين

أن الاستطاعة الفعلية في حالة استخدام الخلية تكون أفضل منها في حالة غياب الخلية وخاصةً عند السرعات العالية. بسبب إغناء الشحنة الداخلة بغاز الأوكسجين المؤكسد لمكونات الوقود، وغاز الهيدروجين الذي يمثل عنصر احتراق صديق للبيئة.

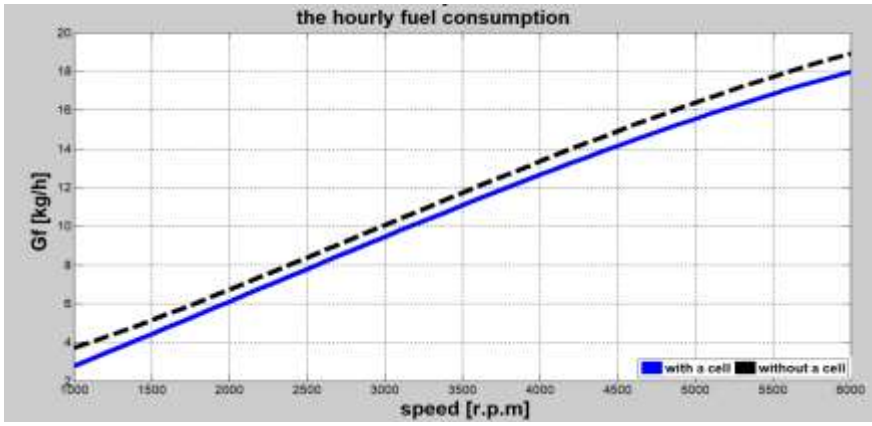
يبين الشكل(7) علاقة العزم الفعلي كتابع لسرعة الدوران للمحرك في الحالتين.



الشكل(7) علاقة العزم الفعلي كتابع لسرعة الدوران للمحرك في الحالتين.

يلاحظ من الشكل أن هناك فرقاً واضحاً في العزوم الفعالة في الحالتين، بسبب الإغناء المسبق لشحنة الداخلة بغاز براون. و يلاحظ أن أكبر قيمة للعزم في الحالتين يكون عند السرعة($3450\ r.p.m$).

يوضح الشكل(8) علاقة الاستهلاك الساعي للمحرك بدلالة السرعة في الحالتين.



الشكل(8) علاقة الاستهلاك الساعي للمحرك بدلالة السرعة في الحالتين.

حيث يلاحظ انخفاض الاستهلاك الساعي عند استخدام خلية التحليل الكهربائي للماء عنه في حالة دون خلية، بسبب غنى الشحنة بالأوكسجين ووجود غاز الهيدروجين الذي يزيد من الاقتصاد في استهلاك الوقود، كونه وقودا إضافيا.

الاستنتاجات والتوصيات: انطلاقاً مما تقدم وباستقراء المخططات السابقة نجد :

1- ازدادت الاستطاعة في نظام إغناء الشحنة بالأوكسجين والهيدروجين، عند سرعة الدوران $2200 r.p.m$ من القيمة $26.91 KW$ إلى القيمة $31.67 KW$ أي بنسبة (15%).

2- ازداد العزم الفعال في نظام إغناء الشحنة عند نفس سرعة الدوران من القيمة $116.81 N.m$ إلى القيمة $134.85 N.m$ أي بنسبة (13.38%).

3- انخفاض الاستهلاك الساعي للوقود في نظام إغناء الشحنة عند نفس سرعة الدوران من القيمة $7.37 kg/h$ إلى القيمة $6.79 kg/h$ أي بنسبة (7.87%).

4- اختفاء غازي (CO, H_2) من نواتج الاحتراق في حالة استخدام الخلية.

5- يوصى في الأبحاث القادمة بتنفيذ نموذج عملي لخلية تحليل كهربائية، وربطها مع محرك احتراق داخلي، واجراء تجارب عملية ومقارنة النتائج التجريبية مع النتائج التحليلية، وهذا ما سيتم دراسته في موضوع البحث القادم

المراجع

1-Двигатели внутреннего сгорания .теория рабочих процессов Под.Ред. В.Н. Луканина.Москва.Высшая школа.1985 369 с .

2- Дьяченко Н.Х,Теория двигателей внутреннего сгорания. Ленинград .Машиностроение . 1974 .552 с .

3- Иващенко Д.Н,Теория Поршневых и комбинировнных двигателей. Москва .1983.

4- د. النسر ابراهيم ، نظرية محركات الاحتراق الداخلي، أكاديمية الأسد للهندسة العسكرية ، 2010 م.

5- Орлина А.С.,Круглова М.Г, Устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей . Москва . Машиностроение.1990.283с.

6-د.العمر أحمد فيصل ،محركات الاحتراق الداخلي ، الجزء الثاني جامعة حلب ، 1982 م ، صفحة 177 .

7-الدكتور المهندس حاتم المنصور، الدكتور المهندس محمود محمد، محركات الاحتراق الداخلي ، جامعة حلب ، 2007م ، 595 صفحة .

8- الدكتور المهندس معن المخلف – نظرية وتصميم وسائط التأمين بالغازات- 2013- أكاديمية الأسد للهندسة العسكرية.

9-الدكتور رضوان المصري ، الدكتور نبهان خياطة ، الدكتورة ماجدة برمدا، الترموديناميك الهندسي، جامعة حلب، 1993 م ، 439 صفحة .