An Experimental Analytical Study to Convert a Turbine Engine Into a Jet Engine With the Aim of Using It Within the Jet Engine Laboratory, by Taking Advantage of its Investment Documents

Dr. Manhal Hasan Albarry*

(Received 15 / 5 / 2024. Accepted 6 / 7 / 2025)

□ ABSTRACT □

Development in the field of jet engines is taking place rapidly, and depends on scientific research according to several axes, including (materials used in industry - dynamic mathematical modeling of engines - advanced control of these engines - quality of fuel used.....) and to carry out scientific research requires equipment. A laboratory for jet engines and used as a test base and starting point for studies and development

In this research, we will study the preparation of a laboratory for jet engines by converting a small-scale TS-21 turbine engine into a jet engine, and we will work to benefit from the information contained in the investment documents attached to the turbine engine in conducting studies and calculations and auditing the results of the mathematical model.

It was also provided with a system to measure and record basic parameters, draw and show the curves of these parameters and their relationships between them, during the period of operation of the jet engine and follow the thermodynamic cycle and basic specifications of the engine.

Keywords: jet engines, turboengines, thrust, thermodynamics.

Copyright **:**Latakia University journal (Formerly Tishreen)-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

***Researcher- Center of Scientific Studies and Research- Mesyaf- Syria.**

دراسة تحليلية تجريبية لتحويل محرك عنفي إلى محرك نفاث بهدف استخدامه ضمن مخبر المحركات النفاثة بالاستفادة من وثائقه الاستثمارية

د. منهل حسن البري *

(تاريخ الإيداع 15 / 5 / 2024. قُبِل للنشر في 6/ 7 / 2025)

□ ملخّص □

إن التطور في مجال المحركات النفاثة يتم بشكل متسارع، ويعتمد على الأبحاث العلمية وفق محاور متعددة منها (المواد المستخدمة في الصناعة –النمذجة الرياضية الديناميكية للمحركات –التحكم المتقدم بهذه المحركات –نوعية الوقود المستخدم .....) ولإنجاز الأبحاث العلمية يحتاج إلى تجهيز مخبر للمحركات النفاثة واتخاذه كقاعدة اختبار ونقطة انطلاق للدراسات والتطوير.

وفي هذا البحث سيتم دراسة تجهيز مخبر للمحركات النفاثة من خلال تحويل محرك عنفي بمقياس صغير TS–21 إلى محرك نفاث، والعمل على الاستفادة على المعلومات الواردة في الوثائق الاستثمارية المرفقة مع المحرك العنفي في إجراء الدراسات والحسابات وتدقيق نتائج النموذج الرياضي، كما تم تزويده بمنظومة لقياس وتسجيل البارامترات الأساسية، ورسم وإظهار منحنيات هذه البارامترات وعلاقاتها فيما بينهم، خلال فترة عمل المحرك النفاث ومتابعة الدورة الترموديناميكية والمواصفات الأساسية للمحرك.

الكلمات المفتاحية: المحركات النفاثة، المحركات العنفية، قوة الدفع، الترموديناميك.

حقوق النشر : مجلة جامعة اللاذقية (تشرين سابقاً)– سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص CC BY–NC–SA 04

* **باحث –مركز الدراسات والبحوث العلمية – مصياف– سورية.**

مقدمة:

يتألف المحرك العنفي من الضاغط وحجرة الاحتراق وعنفة الضاغط والعنفة الحرة، حيث تقوم عنفة الضاغط بتقديم العمل اللازم لتدوير الضاغط والعنفة الحرة تنتج الطاقة المفيدة بشكل ميكانيكي على محور هذه العنفة، أما المحركات النفاثة فلا يوجد عنفة حرة، لكن بعد عنفة الضاغط يتم تحويل الطاقة المتوفرة في غازات الاحتراق إلى طاقة حركية عن طريق أنبوب النفث وخروجها من فوهة النفث.

أهمية البحث وأهدافه:

تأتي أهمية هذا البحث من كونه يكرس الاستفادة من المعلومات الواردة في الوثائق الاستثمارية والوصف الفني المرفق لمحرك عنفي ومنظوماته المرفقة وتتم الاستفادة من خلال وضع وتصحيح وضبط النموذج الرياضي الترموديناميكي لمولد الغاز في المحرك العنفي (الضاغط – حجرة الاحتراق – عنفة الضاغط).

في هذا البحث تم تحويل المحرك العنفي إلى محرك نفاث مع المحافظة على البارامترات الترموديناميكية للمحرك العنفي، وذلك بهدف استخدامه لاحقاً من مخبر للمحركات النفاثة وإجراء التجارب وذلك بتصميم وتنفيذ منظومة تحصيل وتسجيل البارامترات.

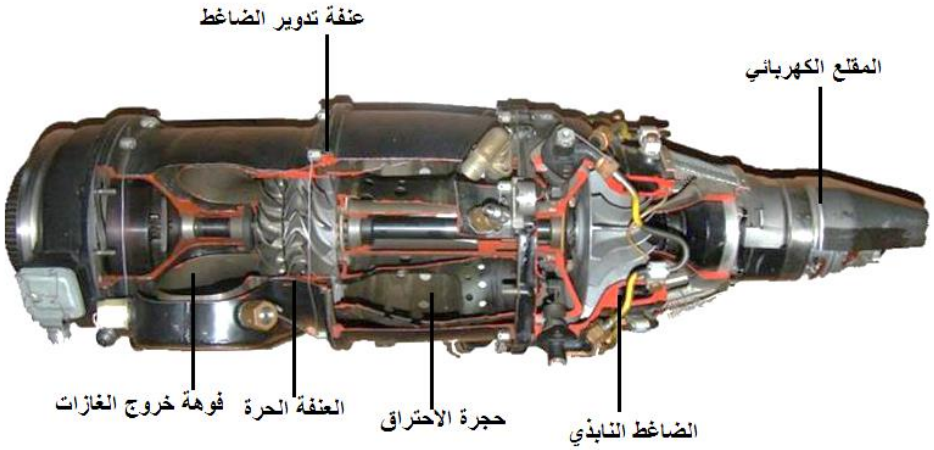
1- المحرك العنفي TS-21 [2][1]

يستخدم المحرك العنفي لتدوير محركات الطائرات على الأرض، ويتألف من:

1- مقلع كهربائي .
2- ضاغط نابذي .
3- حجرة احتراق .
4- عنفة تدوير الضاغط .
5- العنفة الحرة
6- فوهة خروج للغازات.

وتتمثل مهمة المقلع العنفي بتقديم استطاعة لدوار المحرك عند بداية التدوير بحيث يساعد في إيصال المحرك إلى سرعة دوران مستقرة بأسرع وقت ممكن.

ويظهر الشكل (1) أجزاء المقلع العنفي :



الشكل(1) أجزاء المقلع العنفي

ويظهر الجدول رقم(1) يبين البارامترات الواردة في الوثائق الاستثمارية للمحرك العنفي [1] TS-21والتي يمكن استخدامها في الحساب الترموديناميكي.

الجدول(1) البارامترات الواردة في الوثائق الاستثمارية

الاستطاعة	$[hp]$(80-60)
الضغط خلف الضاغط	2-2.5 [kg/cm^2]
غزارة الهواء	1.18 [kg/sec]
سرعة الدوران على النظام المستقر	50500 [rpm]
درجة الحرارة في حجرة الاحتراق على النظام المستقر	1133[K]
درجة الحرارة خلف العنفة الحرة على النظام المستقر	1033[K]
زمن الوصول إلى نظام العمل المستقر	5-15[sec]
وزن المحرك	50[kg]

وبالاستفادة من هذه البارامترات في صياغة وضبط النموذج الرياضي والحسابات الترموديناميكية للمحرك وذلك على نظام العمل المستقر **[5][4][3]:**

العمل المستهلك في الضاغط:

$$L_c = \frac{k}{k-1} R \left(\pi_c^{*\frac{k-1}{k}} - 1 \right) \qquad (1)$$

درجة الحرارة خلف الضاغط:

$$T_2^* = 288 + \frac{L_c}{R\frac{k}{k-1}} \qquad (2)$$

درجة الحرارة أمام العنفة:

$$T_3^* = \frac{G_f H_u}{G_a\, c_p} + T_2^* \qquad (3)$$

العمل المنتج من عنفة الضاغط:

$$L_T = \frac{k}{k-1} R T_3^* \left(1 - \frac{1}{\pi_T^*} \right) \qquad (4)$$

درجة الحرارة خلف العنفة:

$$T_4^* = T_3^* - \frac{L_T}{R\frac{k}{k-1}} \qquad (5)$$

حيث أن:

- R ثابت الغازات $[\frac{J}{kgK}]$
- G_f غزارة الوقود المقدم للمحرك $\frac{kg}{sec}$
- H_u القيمة الحرارية النوعية لاحتراق الوقود $[\frac{J}{kg}]$
- k الأس الاديباتي
- c_p السعة الحرارة النوعية $[\frac{J}{kg\,K}]$
- G_a غزارة الهواء عبر المحرك $kg\ /\ s$

ويظهر الجدول (2) نتائج الحسابات الترموديناميكية للبارامترات

الجدول (2) نتائج الحسابات الترموديناميكية للبارامترات غير الواردة في الوثائق الاستثمارية:

الحرارة خلف الضاغط$T_2^*[K]$	465
الضغط خلف الضاغط$P_2^*[Pa]$	392321
الضغط خلف عنفة الضاغط$P_4^*[Pa]$	182514

نسبة التمدد على عنفة الضاغط π_T^*	1.95
استهلاك الوقود $[\frac{kg}{sec}]$	0.024
درجة حرارة الغازات خلف العنفة $[K]$	1033

2-تحويل المحرك العنفي لمحرك نفاث [5][4][3]:

لتحويل المحرك العنفي إلى محرك نفاث يجب استبدال العنفة الحرة وفوهة خروج الغازات بأنبوب نفث بهدف تسريع التيار الغازي من خلال تحويل الطاقة الغازات خلف عنفة الضاغط إلى طاقة حركية ، ومن بارامترات الغاز خلف العنفة حيث أن درجة حرارته $T_4^* = 1033[K]$ كما أن قيمة الضغط الكامل $P_4^* = 182514[pa]$ وغزارة الهواء $G_a = 1.18\left[\frac{kg}{sec}\right]$.

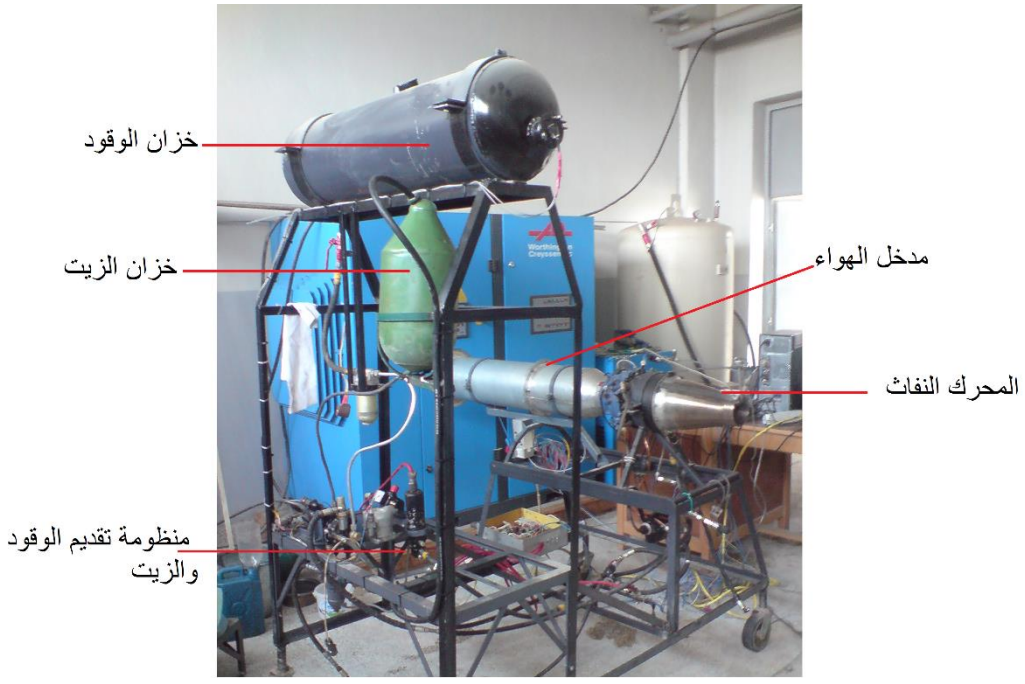
وبحساب مساحة المقطع فوهة النفث (مساحة الخروج (أنبوب النفث) F_c) معادلة التدفق:

$$G_a = 0.0404\frac{P_4^*}{\sqrt{T_4^*}}\ q\left(\lambda\right)_c\ F_c \qquad (6)$$

مساحة فوهة النفث $F_c = 70[cm^2]$ حيث أن معامل التمرير $q\left(\lambda\right)_c = 1$ وتكون قوة الدفع المحسوبة F =683[N]

3- تصميم واختيار مواقع حساسات قراءة وتسجيل البارامترات وفق مقاطع المحرك:

إن التعديلات التي تم إجراؤها على المقلع العنفي أدت إلى الحصول على محرك نفاث أحادي المحور. ويمكن استخدامه كأساس مخبر المحركات النفاثة، ويظهر الشكل (3) توضع المحرك والتجهيزات اللازمة للتدوير:

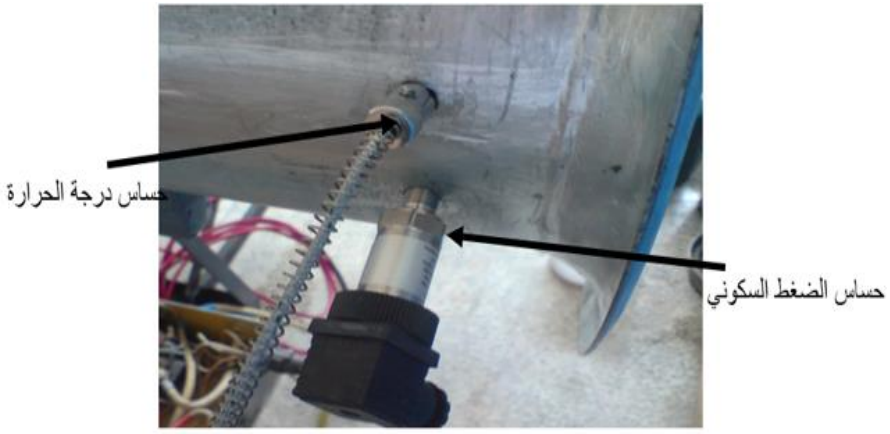


الشكل (3) اماكن توضع المحرك والتجهيزات اللازمة للتدوير

بهدف قياس البارامترات وتسجيلها تم تزويد المحرك بالحساسات المناسبة في مقاطع محددة تمكننا بعد تحليل هذه المعطيات من معرفة بارامترات ومواصفات المحرك واستنتاج مميزاته، وذلك وفق الآتي:

- **المقطع الأول:**

مدخل المحرك حيث تم تزويده بحساسين لقياس الضغط السكوني ودرجة الحرارة كما هو مبين بالشكل (4):



بالشكل (4) الحساسات المركبة على مدخل المحرك

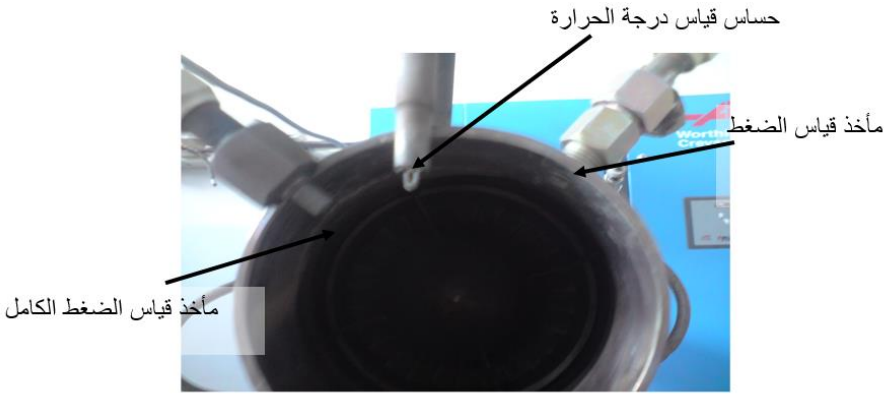
- **المقطع الثاني:**

خلف الضاغط تم تزويده بحساسين لقياس الضغط الكامل ودرجة الحرارة كما هو مبين بالشكل (5).

الشكل (5) الحساسات المركبة خلف الضاغط

- **المقطع الثالث:**

خلف فوهة النفث تم تزويده بثلاثة حساسات لقياس الضغط الستاتيكي والضغط الكامل ودرجة الحرارة الشكل (6).



الشكل(6) الحساسات المركبة عند فوهة النفث

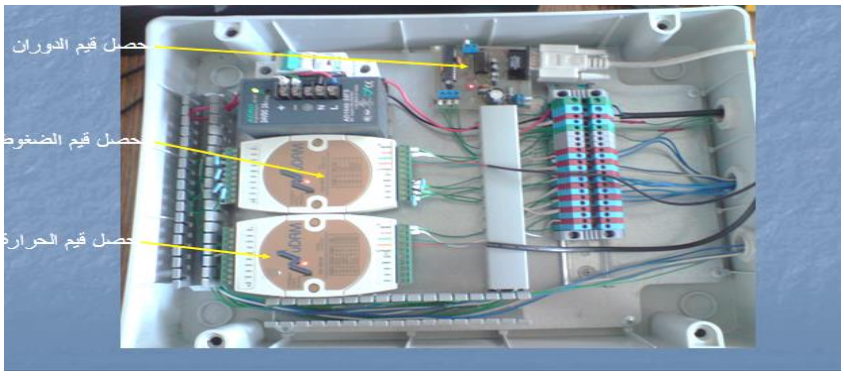
لقياس قوة الدفع الناتجة عن طريق تم تزويد قاعدة الاختبار بحساس عبارة عن خلية وزن الشكل (7):

الشكل(7) حساس قياس قوة الدفع

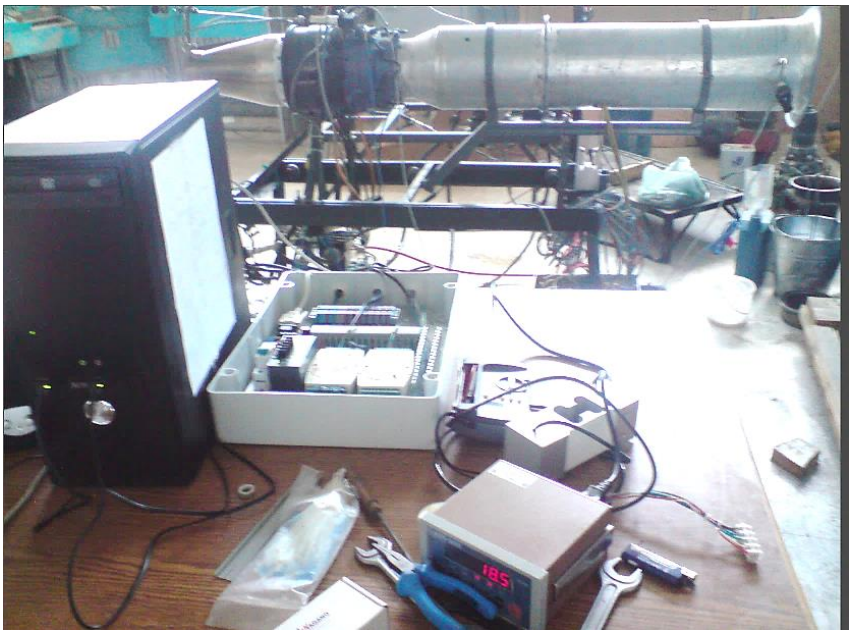
لقياس ضغط الوقود المقدم للمحرك أثناء عمله تم تزويد دورة وقود المحرك بحساس كما في الشكل(8)

الشكل (8) حساس قياس ضغط الوقود المقدم للمحرك

وبسبب أهمية قياس سرعة دورا ن المحرك تم تزويد منظومة القياس والتسجيل بآلية تسجيل سرعة دوران المحرك. ويتم تجميع كل هذه الإشارات الصادرة من الحساسات وإدخالها إلى الحاسب باستخدام منظومة التسجيل الموضحة بالشكل (9)، يبين الشكل (10) منظومة التسجل ووصلها مع كل من المحرك والحاسب:



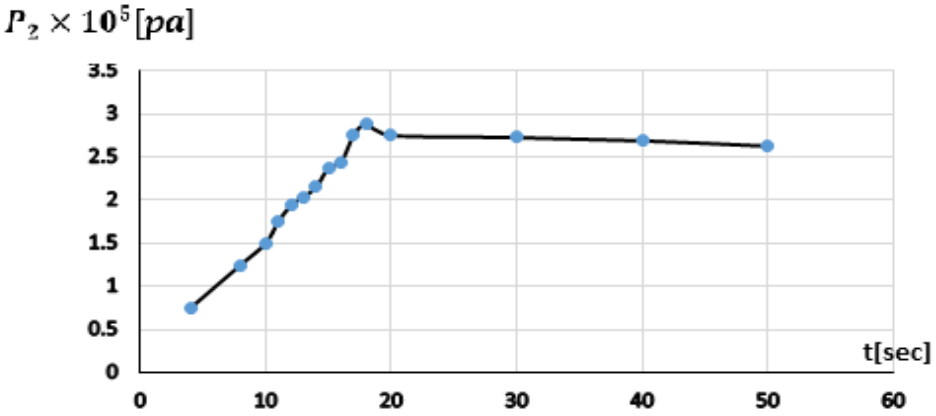
الشكل (9) منظومة تسجيل البارامترات من الحساسات



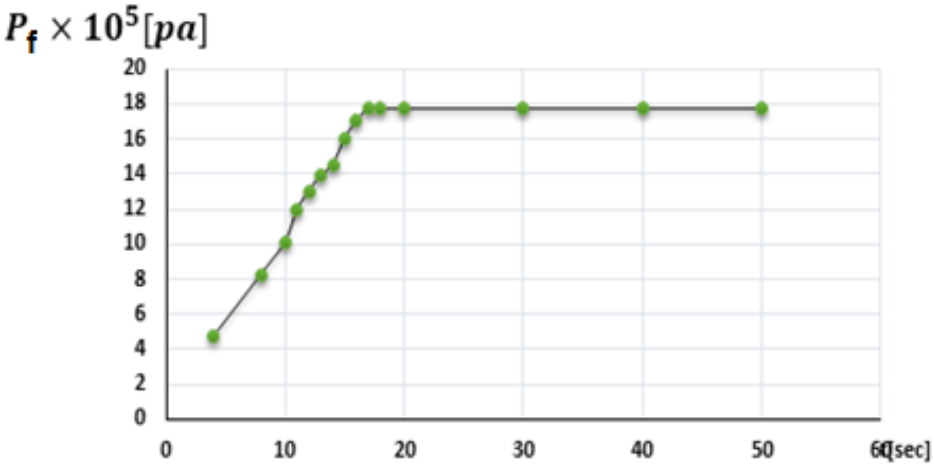
الشكل (10) منظومة التسجيل ووصلها مع كل من المحرك والحاسب:

النتائج والمناقشة:

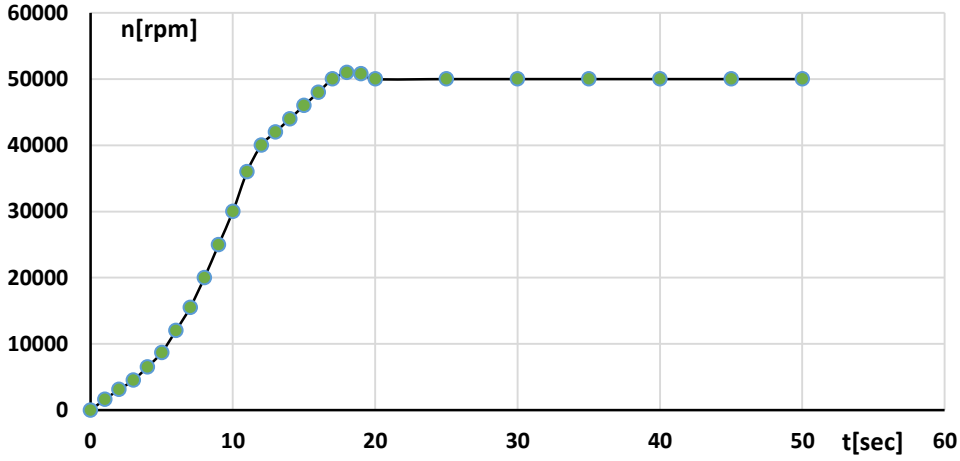
بإجراء تدوير المحرك النفاث وتسجيل البيانات وفق مقاطع المحرك المحددة وذلك من لحظة بدء التدوير وحتى الوصول إلى نظام عمل ثابت ومستقر، تم إظهار النتائج على شكل منحنيات بالشكل (11):



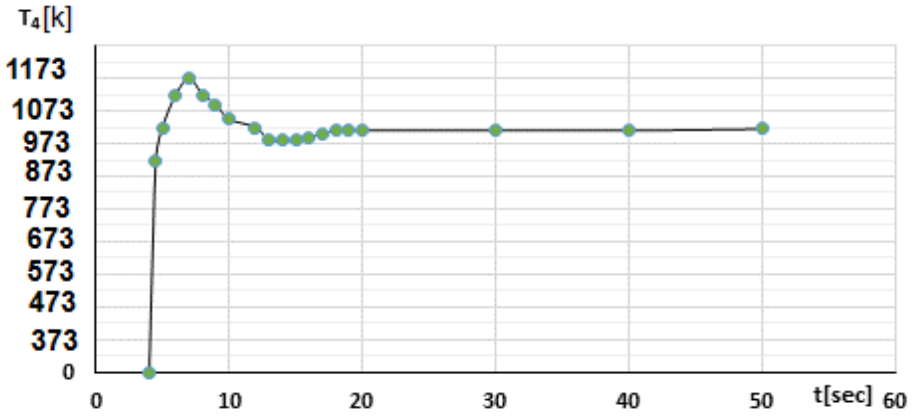
الشكل (11-1) تغير ضغط الهواء خلف الضاغط مع الزمن



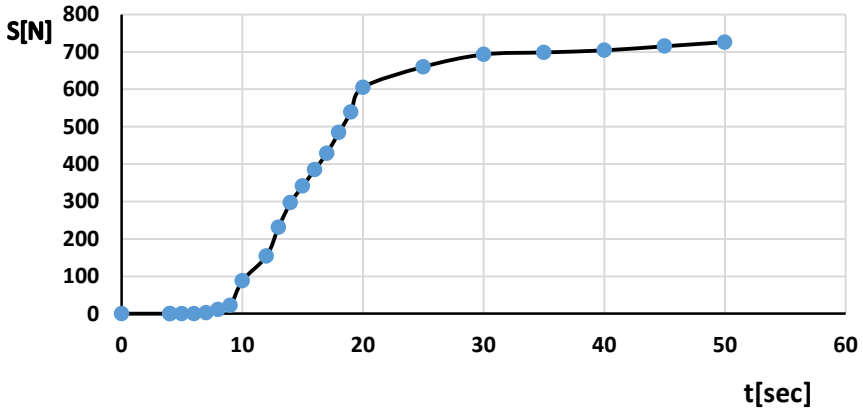
الشكل (11-2) تغير ضغط الوقود خلف الضاغط مع الزمن



الشكل (11-3) تغير سرعة دوران القلب الدوار مع الزمن



الشكل (11-4) تغير الحرارة خلف العنفة مع الزمن



الشكل (11-5) تغير قوة الدفع مع الزمن

الشكل (11) تغير بارامترات المحرك مع الزمن

بمقارنة التناسب بين ضغط الوقود المقدم إلى المحرك النفاث مع قيمة ضغط الهواء خلف الضاغط والذي تم قياسهما وتحصيلهما، مع ما هو وارد ضمن الوثائق الاستثمارية المرفقة مع المحرك العنفي والذي تم تحويله إلى محرك نفاث حيث أنه يوجد وثيقة استثمارية الشكل (12) تظهر قيم ضغط الهواء خلف ضاغط المقلع العنفي وما يناسبها من ضغط الوقود المثالي والحد الأعلى والحد الادنى المسموحان لعمل المحرك العنفي **[1][2]**.

12

Enclosure

CHARACTERISTIC P (fuel) — f (P compr.)

P(compr.), kgf/cm²	Pressure P(fuel), kgf/cm²	
	Specified	Actual
0.1	$3^{+0,75}$	3.3
0.2	$3.2^{+0,75}_{0,30}$	3.6
0.4	$3.9^{+0,75}$	4.0
0.6	$4.7^{+0,75}_{-1,20}$	5.0
0.8	$6.5^{+0,75}_{-1,80}$	6.2
1.0	$8.25^{+0,75}_{-1,50}$	8.2
1.2	$10.1^{+0,75}_{-1,80}$	9.4
1.4	$11.9^{+0,75}_{-1,30}$	11.3
1.6	$13.75^{+0,75}_{-1,85}$	13.2
1.8	$15.5^{+0,75}_{-1,35}$	15.1
2.0	$17^{+0,75}_{-1,00}$	16.3

13

Enclosure
Continued

P(compr.), kgf/cm²	Pressure P(fuel), kgf/cm²	
	Specified	Actual
2.2	$17.6^{+0,55}_{0,70}$	17.4
2.4	17.7 ± 0.25	17.6
2.5	17.7 ± 0.25	17.7
3.0	17.7 ± 0.25	17.8

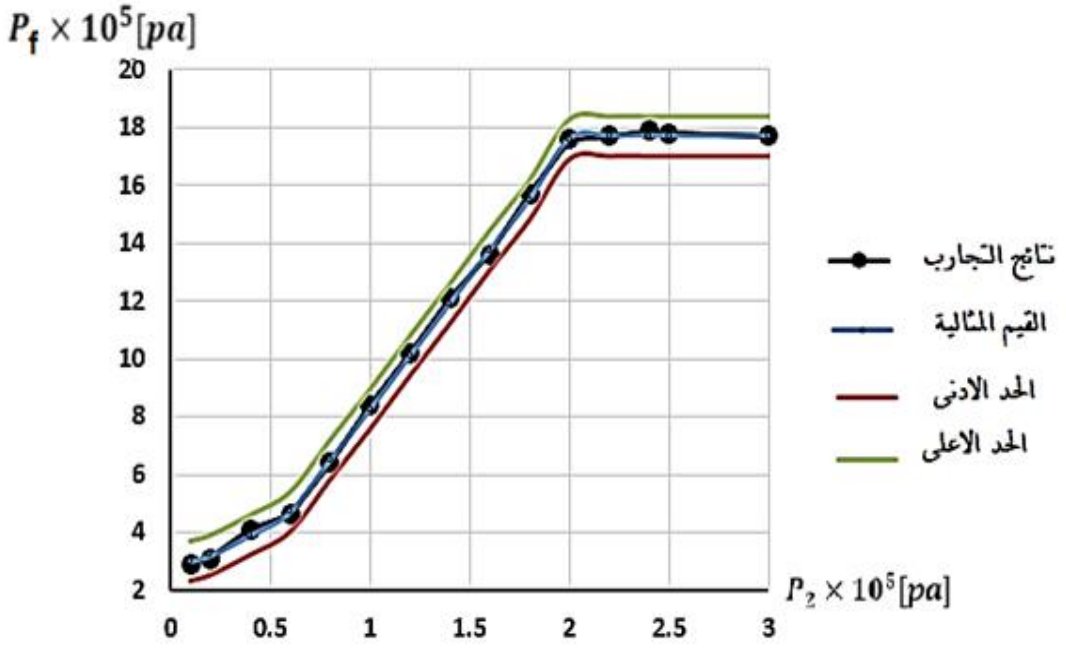
Note:

1. Make use of fuel T-1 and oil MK-8 at P (inlet) of fuel = 2 kgf/cm² P (outlet) of oil = $2,0^{+0,5}$ kgf/cm², temperature of operating fluid (fuel and oil) being plus $25 \pm 5°$ C, 27 V when reading the Performance Characteristics.
2. Precision of pressure measurement ± 1% of the actual value.

I. D. Representative Baeues

الشكل(12) قيم ضغط الهواء وما يناسبه من ضغط الوقود كما هو في الوثائق الاستثمارية للمقلع العنفي

وبرسم البيانات السابقة بين الحد الأدنى والحد الأعظمي للوقود المسموح بهما ومقارنتها مع القيم المثالية لضغط الوقود، ونتائج التجربة بعد تحويل المحرك العنفي إلى محرك نفاث كما في بالشكل (13)



الشكل (13) القيم المثالية والحد الأدنى والحد الأعظمي المسموحان لتناسب ضغط الوقود مع ضغط الهواء خلف الضاغط ونتائج التجربة

حيث يظهر أن النتائج التجريبية للمحرك النفاث تقع قريبة من القيم المثالية وضمن المجال المسموح والمحدد في الوثائق الاستثمارية للمقلع العنفي.

وفي الجدول (3) مقارنة بين نتائج الحسابات وفق النموذج الرياضي للمحرك النفاث الذي تم إنجازه ونتائج التجارب العملية على قاعدة الاختبار، كما نورد نتائج دراسات سابقة لكل من الحسابات ونتائج القياسات. [6][7]

الجدول (3) المقارنة مع النتائج الحسابية مع التجريبية ونتائج دراسات سابقة

	الواحدة	القيم المحسوبة	القيم التجريبية	نتائج دراسات سابقة	
				القيم المحسوبة	القيم المقاسة
الضغط الخارجي	$[pa]$	101325	100015	101325	99885.82
حرارة الجو الخارجي	$[K]$	288	290	288	290.65
الضغط خلف الضاغط	$[pa]$	398549	387642	398549	392652
الحرارة خلف الضاغط	$[K]$	463	469	462.35	460.25
الحرارة أمام العنفة	$[K]$	1175	1180	1168.15	1170.35
الحرارة خلف العنفة	$[K]$	1040	1050	1013.27	1043.45
الضغط خلف العنفة	$[pa]$	172812	158812	162812.9	154655
غزارة الوقود	$[\frac{kg}{sec}]$	0.024	0.023	0.02	0.021
قوة الدفع	$[N]$	683.1	718	698.09	732

حيث يظهر التقارب بين نتائج الحسابات والنتائج التجريبية للعمل المنجز ونتائج دراسات سابقة

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

في هذا البحث تم تحويل محرك عنفي إلى محرك نفاث وذلك بعد تنفيذ دراسة تحليلية وتجريبية ويكمن الخلوص الى الاستنتاجات الاتية:

1- يمكن الاستفادة من المعلومات الواردة في الوثائق الاستثمارية المرفقة للمحرك العنفي في ضبط وتصحيح النموذج الرياضي لمولد الغاز (ضاغط –حجرة احتراق– عنفة).

2- دراسة واختيار أنبوب النفث الصحيح وحساب المساحة الدقيقة لفوهة النفث لتحل مكان العنفة الحرة بهدف إعطاء قوة الدفع المناسبة

3- تصميم وتجهيز منظومة تسجيل المعطيات وبارامترات المحرك النفاث ووصلها إلى الحاسب

وبالتالي تم الحصول على قاعدة تجارب محركات نفاثة وفق المقياس الصغير مضبوطة ودقيقة يمكن الاستفادة منها في إجراء الدراسات والأبحاث واستخلاص النتائج وفق الفرضيات المطروحة.

التوصيات:

توسيع الدراسة السابقة وتجهيز المخبر ونموذج المحرك النفاث لتشمل دراسة تأثير الوسط المحيط الخارجي وتغيراته على إداء المحرك (مثل التغير بالارتفاع وتغير السرعة وتغير درجات الحرارة والرطوبة. وغيرها).

References:

[1] A. Sulaiman, technical discretion and manual use for turbo starter TS-21, second edition, military engineering academy 'in Arabic', Aleppo,2009.

[2] T. Abo omar, user manual for turbo jet engine P29 , theird edition, military engineering academy 'in arabic', Aleppo,2008.

[3] A.Sulaiman, Theory of jet engine, second edition, military engineering academy 'in arabic', Aleppo, 2009.

[4] J.Mattingly, W. Heiser, D. Pratt, Aircraft Engine Design , Second Edition, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Washington, 2012.

[5] M.Aid, designe and build turbo gas aviation engine, first edition 'in Arabic', Damascus, 2019.

[6] M. Hocko, J. Polansky , Transformation Of An Aviation Turbo heft Engine Into Experemental Jet Engine For Laboratory Testing Unstable Radial Compressor Work , Journal, International Mechanical Engineering Congress & Exposition, Montreal –Canada, , vol(1(6)),pp 40-60. (2014)

[7] A Bened, R Andoga, L Fozo, Linear Mathematical Model Representation Of Small Scale Turbojet Engine With Variable Exhaust Nozzle, Journal, Periodica Polytechnic Transportation Engineering, vol(1(46)),pp 1-10. (2018)