الباب السابع
المحركات

محركات الدفع التربيني تشغّل اليوم معظم الطائرات، وهي تلعب دورا مهما واساسيا في مجال النقل الجوي، وفي هذا الباب سوف نسلط الضوء على ما تحقق من تطور وابداع في هذا المجال.

فكرة الدفع النفاث ليست جديدة، وتشير المصادر التاريخية الى ان المصريين القدماء كانوا السباقين في مجال تصميم وصناعة المحركات التربينية النفاثة، لقد كان ذلك على يد أحد العلماء الفيزيائيين من الإسكندرية، الذي طور اول محرك نفاث حوالي العام 150 قبل الميلاد, لقد صمم محرك على هيئة لعبة وعرف آنذاك باسم "Aeolipile "، ويتكون من غلاية وانبوبان مجوفان معكوفان متصلان ببكرة، ويأتي البخار من الغلاية عبر الانبوبان المجوفان الى الكرة، ويؤدي ذلك الى دوران الكرة, كما تشير المصادر التاريخية الى ان الاغريق القدماء عرفوا المبادئ الاساسية بالخصوص، وكانت لديهم دمية ذات محرك بخاري تعتمد على الدفع النفاث، واستفاد الصينيون من ذلك حيث طوروا الصواريخ العام 1232 م لإخافة الاعداء، واستطاع الصيني وان هو Wan Hu القيام بالعديد من المحاولات لدفع زلاجته بالدفع الصاروخي, ولكن محاولاته باءت بالفشل وأدت الى وفاته. كما ظهرت صواريخ من نوع embryonic في سماء الصين قبل سبعة قرون من تحليق طائرة الاخوين رايت ثنائية الاجنحة ذات المحرك البسيط والمروحة المصنوعة من الخشب.

مساهمات اسحاق نيوتن:

في العام 1687 أعلن السيد نيوتن عن قوانين الحركة الثلاثة، والتي لعبت دورا مهما في الاختراعات الجديدة، ومنها تطور المحرك التربيني الغازي، القانون الاول يقول "يبقى الجسم على حالته (الثابتة او المتحركة) ما لم تؤثر عليه قوى خارجية". أما

القانون الثاني فيقول: القوة المؤثرة على الجسم تتناسب طرديا مع كل من كتلته ك، وعجلته ع، اي ان ق=عX ك. اما القانون الثالث فهو: " لكل فعل رد فعل مساوي له في المقدار ومضاد له في الاتجاه". وفي نفس العام اخترع نيوتن العربة البخارية، حيث تم دفع العربة بواسطة البخار المتولد من الغلاية Boiler.

ولفهم الدفع النفاث، فمن المهم جدا الإشارة الى قانون نيوتن Newton الثالث، ويمكن ملاحظة ذلك عند ارتطام مخمس البندقية بكتف الرامي عند إطلاق النار، وكذلك اندفاع الماء الى الخلف عند اندفاع القارب الى الامام بسرعة، عندما يملأ البالون بالهواء ويترك دون ربط فانه يندفع بفعل تسرب الهواء الذي كان بداخله، هناك أكثر من طريقة لدفع الطائرة. الدفع النفاث والدفع المروحي كلاهما يعطي قوة دفع thrust وذلك بإزاحة كتلة من الهواء الى الخلف، والاختلاف الأساسي بينهما هو قوة الدفع الخلفي، ففي حالة الدفع المروحي فإن كمية كبيرة من الهواء (تعتمد على قطر المروحة) تندفع الى الخلف ولكنها بسرعة بسيطة.

اما في حالة الدفع النفاث، فإن كمية الهواء تكون قليلة ولكن سرعة الاندفاع تكون أكبر، في السنوات الأولى للطيران، كانت تستخدم المروحة المركبة على المحرك المكبسي piston engine ذو الأربع أشواط، والذي ينتج طاقة مرة كل 2 دورة cycles والذي يحول ثلث الطاقة المحتمل انتاجها (Potential energy) من الوقود الى طاقة ذات فائدة(شغل)، والطاقة الأخرى المتبقية(الثلثين)، فقدت على هيئة قوة احتكاك وأخرى لغرض تبريد أجزاء المحرك. ليست المسالة في نوع المحرك المكبسي الذي نستخدمه، قدرة المحرك تعتمد دائما على كمية الوقود والهواء الذي يحرقه المحرك، ويجب ان نتذكر بأن كثافة الخليط فقط هي التي تقرر القوة التي ينتجها المحرك وليس الحجم، بأن الطاقة(القدرة) ليست مرتبطة بحجم الهواء، ولكنها مرتبطة بكتلة ووزن الهواء، انه العدد الفعلي للجزيئات التي تدخل غرفة الاحتراق, وأنه كلما ارتفعنا ألف قدم عن سطح

البحر فإن ذلك يؤدي الى خفض قدرة المحرك بمقدار ثلاثة احصنة، وان قدرة المحرك تتناسب عكسيا مع الارتفاع، عند ارتفاع 18000 قدم عن سطح البحر فان الضغط الجوي ينخفض الى النصف, وكذلك الحال بالنسبة للكثافة, وبالتالي فان كمية الاكسجين التي تختلط مع الوقود تكون قليلة. اي ان المحرك يولد فقط نصف طاقته.

اننا في حاجة ولا شك الى إيجاد طريقة لدفع الهواء الى غرفة الاحتراق, والشحن النفاث turbo-charger هو الذي يقوم بتزويد المحرك بالكمية الإضافية من الهواء لتحقيق كفاءة افضل, وبنظرة تاريخية الى الشحن النفاث والتي تعود في الحقيقة الى نهاية القرن التاسع عشر, الى المخترع الألماني gottlieb Daimler ,وفي العام 1883 استخدم الاخوان تيساندیه Tissandier المحرك الكهربائي بواسطة البطاريات, وبعد فترة قصيرة استطاع الألماني بأول هينلاين Paul haenlein ان يقوم بتجربة بواسطة محركين من محركات الغاز, وتبين فيما بعد ان مثل هذه المحركات لا تصلح للمركبات الهوائية.

الطليان ودورهم في صناعة المحركات

- **طاحونة برانكا**

في العام 1629 اخترع المهندس الإيطالي جيوفاني برانكا GIOVANI BRANCA محركا تربينيا، وتتولد الطاقة نتيجة البخار الذي يدوّر التربينة، ويوجد خرطوم يوجه البخار الى مروحة التربينة التي تدوّر بدورها مجموعة من التروس. واخترع سيكوندو كامبيري، الذي يعمل في شركة كابروني محرك تربيني ترددي reciprocating لتدوير الضاغط ذو الثلاث مراحل stages، وركّب على الطائرة (كابروني-كامبيري) والتي عرفت اختصارا CC-2، ووصلت في العام 1940 الى سرعة 205 ميل/ ساعة.

الانجليز ودورهم في صناعة المحركات

- **اول ترخيص لمرك غازي تربيني**

استطاع الإنجليزي جون باربر John Barber الحصول على الترخيص بتاريخ 1791، وكان قد صمم عربة لان تدفع بواسطة الغاز، واستخدم الدورة الميكانيكية الحرارية، وهي تتكون من ضاغط وحجرة احتراق وتربينه.

- **محرك ستولز Stolze**

في العام 1782، صمم الدكتور ف ستولز اول محرك حقيقي من فئة المحركات التربينية الغازية، وكان يتكون من تربين ذو مراحل متعددة، وضاغط لتدفق الهواء.

النرويجيون ودورهم في صناعة المحركات:

- **محرك الينغ Elling**

بينما كانت الانظار مشدودة الى الاخوين رايت بشأن اول طيران مشغّل، تمكن النرويجي الينغ في العام نفسه(1903) من بناء محرك ناجح له تربينه وضاغط.

نشاطات الألمان في مجال المحركات

بينما كان ويتله يطور محركه، فإن الالمانيّين هانز فون اوهين، وماكس هان، تحصلا على ترخيص بشأن محرك ذو دفع نفاث في العام 1936، وقامت شركة ارنست هينكل لصناعة الطائرات، بتركيب أحد المحركات المطورة على الطائرة HE-178 في 27 أغسطس من العام 1939، وكانت تعتبر اول طائرة بمحرك ذو دفع نفاث حقيقي، وكانت قدرته 1100 باوند. اما السرعة فقد بلغت 400 ميل/ساعة. أدخلت بعض التعديلات على المحرك وزودت به الطائرة النفاثة المقاتلة مسرشميت ME262 بسرعة 500 ميل/ساعة وظهرت هذه الطائرة إبان الحرب العالمية الثانية. وفي العام 1942

طور العالم الألماني دكتور فرانز أنسليم Anslem Franx، المحرك النفاث الذي ركب على الطائرة ME262.

محركات البنزين:

في أواخر القرن التاسع عشر، تلقى فيلهيم مايباخ Wilheim Maybach عديد من الطلبات بشأن صناعة محركات البنزين ذات قوة كبيرة، يمكن أن تستخدم في المركبات الهوائية، واستطاع مصمم المركبات الهوائية هرمان فورفلت Hermann Wolfert أن يقتني أحد هذه المركبات بقوة عشرة أحصنة، ويركبها على مركبته الصغيرة، التي حلق بها عدة مرات في جولات قصيرة بالمعرض الذي أقيم ببرلين العان 1896، ونال إعجاب الحاضرين، إلا أنه فقد حياته العام التالي عندما انفجر به مركبه.

وفي 1896 قام ديزل رودولف بتصميم الشاحن النفاث الميكانيكي، لكن لأجل هذا الموضوع فإننا نبدأ أولاً مع المهندس السويسري الدكتور ألفريد Buchi، الذي منح في العام 1905 براءة الاختراع الأولي للشاحن النفاث المعملي، الذي قيد بنبضات غاز العادم، بدأت شركة الجنرال الكتريك بصناعة الشاحنات النفاثة في العام 1910. وفي العام 1915 عمل الدكتور ألفريد Buchi كمهندس رئيسي بقسم الأبحاث sulzer، حيث اقترح وطور النموذج الأول، محرك ديزل ذو محرك نفاث.

لسوء الحظ، لم يكن المحرك ذو الكفاءة العالية لإبقاء ضغط الدفع الكافي. العام 1918 كان عاماً مهماً أخر، ومن المحتمل أن يكون العام القياسي للشحن النفاث المتعلق بالطائرة، وفي هذه السنة أيضاً كان الدكتور سانفورد موس، مهندس يعمل بشركة GE، نقل محرك ذو قوة مقدارها 350 قوة حصان, إلى قمة أحد التلال في Colorado وهناك في الهواء الهادئ لقمة الجبل الأعلى في الولاية ذات الارتفاع 14109 قدم، وكان موس قادراً على رفع الناتج الكهربائي لذلك المحرك إلى 356 حصان ,1920

كانت سنة مهمة في التاريخ بخصوص شحن النفاث، محرك liberty النفاث ذو 12 أسطوانة, ركب على الطائرة La Pere ثنائية الأجنحة, لاختبارات الارتفاعات ,لقد اختاروا هذه الطائرة باندهاش بما فيه الكفاية , لأنهم اعتقدوا بأن الاحتمال سيكون قليلاً لتحطمها في حالة السقوط من الارتفاع العالي أو السحب العنيف ,شاب يسمى John Macready اختير لقيادة الطائرة , حيث حلق على ارتفاع 33113 قدم , في الحقيقة محرك Macready لم يقف عند ذلك الارتفاع , في مدة قصيرة جداً أصبح واحداً من مسجلي الارتفاعات العالية المجربة في العالم , وقام باختبار المحركات ذات الشحنات النفاثة من 1917-1923 , واستطاع التحليق على ارتفاع 40800 قدم وذلك بتاريخ 21 سبتمبر1921 .

تطورت التقنية النفاثة بسرعة أثناء الحرب العالمية الثانية، ويمكننا أن نتصور أن الطائرتان B-17 وB-29 قاذفات قنابل، وكذلك المقاتلات p-39 و p-51 كانت قد جهزت بالشاحنات النفاثة ومعدات السيطرة، القاذفة B-36 لها ستة محركات مكسبيه PISTONS، كل منها به 28 أسطوانة، وكتيب الطيران بالمهندس الجوي الخاص بالطائرة B-36 يقول: إنه دون وجود الشاحنات النفاثة فإن الأمر يتطلب 90 أسطوانة لكل محرك لإنجاز نفس الأداء.

في أواخر الثمانينات وأوائل التسعينات , سجل Grob strato رقم قياسي غير رسمي للطيران الغير الآلي المشغل بالمحركات المكبسية, عندما وصل الارتفاع 54574 قدم ,لقد كانت تلك طائرة فريدة ,وقد جهزت بجناح من المواد المركبة, ويعد الأكبر في العالم من حيث طول الجناح الذي بلغ 185 قدم, لقد صممت الطائرة لأداء المهمات الخاصة بمراقبة الاتصالات , وأبحاث الجيوفيزيائية والتلوث ومراقبة حالة الطقس , من ناحية الطيران الآلي ,فإنه في العام 1986 تمكنت الطائرة البوينغ كندور

CONDOR من تسجيل ارتفاع يعتبر قياسي للمحركات الترددية وهو66980 قدم.[11].

المحرك التوربيني الغازي gas turbine engine, والذي يتكون من أربعة أجزاء: المدخل intake، الضاغط compressor، غرف الاحتراق combustion chambers، أنبوب العادم exhaust, ويعمل بصفة مستمرة حيث يشفط الهواء إلى الداخل induction، ثم يكبس compressed بواسطة الضاغط الدوار compressor , وهذا الهواء يسخن بواسطة غرف الاحتراق, حيث يقوم بتحريك التوربينة ,ثم يخرج عن طريق ماسورة العادم exhaust, بسرعة أكبر من سرعته عند دخوله المحرك، جميع هذه الأشياء تحدث في وقت واحد ,لكن في أجزاء مختلفة من المحرك، وتحدث هذه العمليات بصفة مستمرة ,وتنتج الطاقة التي تدفع الطائرة ,وتم تصنيع المحرك البخاري على يد الإنجليزي Newcomen سنة (1705), وتابع الأسكتلندي وات (1769) WATT تطوير هذا النوع من المحركات ,أما المحرك الكهربائي فقد تم تصنيعه بواسطة الألماني Benz سنة 1880 .

والمحرك الضاغط باستخدام الشعلة ignition، فإنه كان على يد الألماني Daimler في العام 1883، كما أنه تم تصنيع أول محرك غازي (أربعة أطوار) 4cycles بواسطة OTTO الألماني سنة1877، ومحرك الغازولين سنة 1872 بواسطة الأمريكي Brayton، أما المحرك gas turbine فإنه جاء على يد الأمريكي Curtis سنة 1899 ,واستخدم المحرك لإنتاج الكهرباء و(الهواء المضغوط) لتشغيل بعض الأنظمة.

ومع بداية الحرب العالمية الأولى، فإن شركات عديدة استخدمت خبرتها الطويلة في صناعة السيارات في انتاج محركات الطيارات، وازدادت قوة الدفع بشكل سريع، محرك (غنوم –روم) gnome-Rhone يعطي قوة مقدارها 80 حصاناً، أما

nieuport فإن قوته HP320 حصاناً. المحرك liberty ذو قوة دفع HP400 كان على الطائرة القاذفة العملاقة مارتين Martin MB1.

لقد تأسست شركات عدة لصناعة المحركات حيث كوّن تشارليز ستيوارت رولس (1873-1910) مع ROYCE شركة رولس –رويس (ROLLS-ROYCE)، في العام 1906 في بريطانيا، وفي نهاية العشرينات 1920 بلغت قوة المحركات الألف حصان، وأصبحت معالجتها أكبر سهولة، والمنظر والراحة (الضوضاء) تحسنا بشكل أكبر، وعرض كليرجيه محركاته ذات الزيت الثقيل.

الأمريكان على الطريق

بمساعدة الإنجليز، دخل الأمريكان مجال الدفع النفاث من سبتمبر عام 1941، حيث كانت باكورة الإنتاج المحرك WRIGHT W1X.

في مطلع القرن العشرين s1910 تأسست كل من برات& ويتني PRATT& WHITNEY، وجنرال الكتريك GENERAL ELECTRICالتي استطاعت الفوز بعقد لإنتاج النسخ المتطورة من المحرك WRIGHT W1X،JOE ESCOBAR ، وكذلك شركة Northrop.

وفي أوائل الأربعينات، بدأت الأبحاث بشأن محرك الدعامة النفاث، وفي أكتوبر من عام 1941، فإن المحرك ويتله (A-1)، ركب على طائرة E28/39، وفي فرنسا تأسست شركة توربومايكا TURBOMECA، أما في روسيا فإن هناك شركات عدة منها تومانسكي (TUMANSKY) وليولكا (LYULKA) وكوزنتسوف (KUZNETSOV).

في بريطانيا واثناء الحرب العالمية الثانية، فان مصانع السيارات استخدمت لإنتاج المحركات ومنها مصنع فورد في مانشستر Manchester، الذي أنتج 34,000

محركا من طراز مارلين S730. وفي العام 1946 تأسست في فرنسا الشركة الوطنية لصناعة محركات الطائرات (SNECMA).

المحركات التربينية:

وهي تختلف عن المحركات المكبسية piston engine، من حيث انها اقل اهتزازا وضوضاء واقل وزنا لنفس القدرة، أكثر ثقة، وهذه المحركات تصان على فترات متباعدة، ومن السهل تشغيلها في الأجواء الباردة، كما انها تستهلك اقل زيوت، الا انها مرتفعة الثمن عند الشراء واعمال الصيانة. كذلك فإنها تحتاج إلى وقود أكثر وهي لا تستخدم نظام Ignition (ايقاد) طول الوقت، وفي مرحلة ما بعد الحرب تركزت الجهود نحو تطوير المحركات (المحركات التوربينية), حيث يقوم التربين بتدوير المروحة ذات النصل, إلا أن الطائرات ذات المراوح تواجه مشكلة ازدياد السرعة عند أطراف المروحة , الذي يسبب نقص في فاعلية المحرك, وهذا ناتج من الحقيقة التي تقول بأن قوة المقاومة DRAG ,تزداد بحدة كلما ازدادت السرعة، وتجدر الإشارة أنه في العام 1928 , فإن شاب بريطاني يدعى فرانك ويتله Frank whittle ,كان قد تقدم بأطروحة علمية بشأن التغلب على المصاعب التي تحد من ازدياد السرعة , حيث اقترح استخدام المحرك التربيني للحصول على سرعة عالية, وذلك باستخدام الغاز الموجود بالعادم لإنتاج قوة دفع thrust , بدلاً من استخدام المروحة propeller ,وفي ذلك الوقت لم تتجاوز سرعة الطائرة 350 ميل /ساعة .

استطاع ويتله الحصول على براءة اختراع في سنة 1930، لكن أفكاره لم تر النور إلا عن طريق بعض الشركات في العام 1936، وحيث أن سرعة المحركات المكسبية لم تتجاوز سرعة 500 ميل / ساعة، فقد بدأ هانزفون أوهاين أبحاثه في العام 1933 بشأن المحرك النفاث، وتوصل إلى أن المحرك النفاث سوف يحل مشكلات الطيران العالي

السرعة، واعتماداً على هذه المفاهيم استطاعت شركة أرنست هنكل الألمانية تطوير محركاتها في أواخر الثلاثينات.

وتم انتاج محركات ذات طرد مركزي، حيث صنع الضاغط من الحديد، بينما التربينة صنعت من مواد مقاومة للحرارة العالية، وأجريت التجارب في العام 1935 وكانت مشجعة، وفي نفس العام فإن فون أوهاين Von Ohain التحق بمصنع طائرات هنكل Heinekel، وبدأ العمل بشأن المحرك النفاث والذي يشبه مفهوم whittle، المحرك به ضاغط ذو طرد مركزي، وفي عام 1937 تم اجتبار محرك HeS02 بنجاح، وكانت قوته 280 رطل وفي ربيع 1938 تم صنع المحرك HeS03 الذي بلغت قدرته 900 رطل، وتم اختباره على الطائرة He118 V2.

وفي العام التالي تم تركيب المحرك على الطائرة He178 ,وواصلت الشركة أبحاثها فكان المحرك HeS03B الذي بلغت قوته 1100 رطل, وكان قطره 4 أقدام وطوله 5 أقدام, ومعدل انسياب الهواء 26.4 رطل / ثانية , لقد تم صنع نموذجين من الطائرة He178 , حلقت لأول مرة قبل الغزو الألماني لبولندا بأيام قليلة, بعد ذلك 1940 تم صنع المحرك HeS08 التي بلغت قوته 13.500 رطل, ولكنه أخفق في الوصول إلى القدرة المطلوبة , وأمكن التغلب على مشاكل الحرارة وذلك بإدخال التعديلات على التربينة والضاغط فكان المحرك HeS08B , وتم تركيبه على الطائرة He280 , وفي العام 1942 تمكنت الشركة من انتاج المحرك HeS011 وفي العام 1944 ,ظهرت الطائرة الألمانية مسر شميت Me262 , التي أزعجت الحلفاء كثيراً.

في أبريل العام 1937 تمت تجربة أول محرك نفاث، نوع ويتله على عربة اختبار، وقدمت الحكومة البريطانية دعماً قوياً لتطويره في العام 1940.

- **شركة رولس –رويس:**

وفي العام 1953 قامت الشركة بإنتاج المحرك المروحي نوع DART-mk528 ,بقوة2105 حصان, واستمرت الجهود المضنية على مدى 15 عاماً , وظهرت إلى الوجود عام 1968 الفئة الجديدة من المحركات النفاثة, إنها RB-211 بقوة 19000 رطل، وفي العام 1995 قامت الشركة بإنتاج نوع جديد من المحركات أطلقت عليه اسم TRENT وتحمل الفئات من 100 إلى الفئة 1000 , ونذكر منها TRENT-900 , التي ستزود به الإيرباص A380 , أما TRENT-1000 ,فإنه سيركب على الطائرة B787 , هذا وقد بلغ ما تم انتاجه من هذا النوع (TRENT) أكثر من 1700 محرك ,إنها ولا شك الاختيار الأفضل, حيث تم اختيار ما يقرب من نصف عدد المحركات المطلوبة للطائرات الكبيرة من هذا النوع, وأن أكثر من 40 من كبريات شركات النقل الجوي تثق بهذا النوع من حيث الكثافة والمتانة .

إن درجة حرارة الغاز الناتج عن المحركات الجديدة، تصل إلى 2000 درجة مئوية، وهي أعلى من درجة انصهار سبيكة النيكل، التي تستخدم في صناعة حجر الاحتراق، وريشات التربين Blades، ويحتاج المحرك إلى أكثر من 100,000 فتحة صغيرة، قطر الواحدة فيها لا يتعدى الواحد ملليمتر، لأجل التبريد على مدى المحرك، وكذلك المثبتات الموجودة في مقدمة المحرك N G V، ويتم عمل الفتحات بواسطة الليزر.

شركة برات & ويتني تقدمت من جانبها إلى العالم في العام 1984 المحرك PW100 الذي ركب على الطائرة DASH-8، وفي العام 1995 قامت بصنع المحرك PW530A، والذي يولد قوة دفع مقدارها 2887 باوند، وفي عام 1999 قامت بتطوير هذا النوع من المحركات التي بلغت قوته 3360 باوند. والذي سجل تحت اسم PW535A وتم تركيبها على الطائرة سيسنا Cessna الخفيفة.

السلاح الجوي الأمريكي وقع عقداً مع شركة p&w لصناعة المحركات مدته 39 شهراً لتطوير المحركات, التي ستعطي قوة مقدارها 500 حصان, وسوف تعمل الشركة وبالتعاون مع شركة united للأبحاث التقنية لتحسين قطع غيار المحرك التربيني للمركبات الغير المأهولة (UAV), وتبلغ قيمة المشروع 2 مليون دولار، ومن المتوقع استخدام السيراميك في انتاج بعض المواد والتي من شأنها أن تقلل من استهلاك نسبة الوقود بمقدار20% , وكذلك تحسن في نسبة القوة إلى الوزن بمقدار50% , وما نسبته 35% من تكاليف الإنتاج وذلك في العام 2004 ,إن استخدام السيراميك في انتاج الأجزاء الساخنة يسمح بتقليل التكلفة وزيادة الفاعلية للمحركات , كما أن مثل هذه التقنيات سوف تستخدم مستقبلاً في الطائرات المأهولة , أجهزة تحكم رقمية بالمحرك ومواد جيدة ونقية, مثال ذلك تربين ذو ضغط مرتفع من سبائك أحادية البلور وأقراص من مسحوق معدني ساعدت في تحقيق تحسينات كبيرة, لإعطاء الثقة بالمحرك إلى النقطة التي سمح بها للطائرات ذات المحركين للعبور الأطلسي والهادي.

- **شركة جنرال إلكتريك GE:**

في العام 1918 أحدثت قسماً خاصاً بالمحركات التربينية، وقام الدكتور ستانفورد Stanford Moss، بتطوير المحركات ذات الشحن التربيني، واستخدمت الغاز من أسطوانات المحرك لتدوير التربينة وهذا بدوره يدور الضاغط المكبسي.

كما قامت الشركة في العام 1953 بإنتاج المحرك J47-GE-23 , الذي زودت به القاذفة B-47، وفي العام 1959 قامت بإنتاج المحرك المروحي T-64-GE-6 ,والتي بلغت قوته 2650 رطل, وبعد سلسلة من التجارب تمكنت الشركة في العام 1968 من الوصول إلى قوة دفع مقدارها 19.500 رطل(المحرك النفاث CF-6), وفي أوائل التسعينات من القرن الماضي, فإن الشركة أنتجت المحرك CF34 التي تعتمد على

المحركات TF34 المركبة على طائرة فيرشيلد ريبوبلك REPUBPLIC FAIRCHILD A_10 والطائرة لوكهيد S-3A ,أما محركات CF34-3A وكذلك B3- ,فإنها تزود الطائرة بومبارديير BOMBARDIER CL601 و CL 604 , أما المحركات CF34-3A1 فإنها مركبة على الطائرة بومبارديير BOMBARDIER CRJ100 و CRJ 200 .

وفي أواخر التسعينات، فإن الشركة طورت المحركات ذات السلسلة CF34-8، التي تركب على طائرة بومبارديير CRJ 700 وCRJ900 وكذلك الطائرة امبراير EMBRAER 170 و175، كذلك فإن الشركة طورت المحركات ذات السلسلة CF34-10، والتي اختيرت لأن تركب على الطائرة امبراير190 و195، وكذلك الطائرة الصينية الصنع ARJ21، والتي المتوقع أن تدخل الخدمة سنة 2007. وأخيراً أنتجت الفئة GE90 التي وصلت قوتها إلى 115.000 رطل، وبلغت bypass ratio =(8.5).

- **شركة CFM الدولية لصناعة المحركات:**

تكونت الشركة من ائتلاف كل من شركة جنرال إلكتريك GE ,وشركة سنكما Snecma ,وقامت من سبتمبر من العام 1974 بإنتاج محركات ذات قوة دفع 20.000 رطل, وتلقت الشركة أولى الطلبات في العام 1979 من شركة دلتا للطيران, عندما قررت إعادة تأهيل طائرتها DC-8 , وكانت المحركات من فئة CFM-56-2 , ومنذ ذلك التاريخ واصلت الشركة تطوير هذا النوع من المحركات, وتم تركيبه على العديد من طائرات الإيرباص والبوينغ, وبمرور الزمن تمكنت الشركة من ادخال تعديلات جوهرية على المحرك, من حيث تخفيف الوزن إلى 200 رطل , وكفاءة استخدام الوقود 7% أقل, وتقليل الضوضاء بمقدار 20 ديسيل عن الأنواع السابقة , كذلك ازداد

قطر المروحة, حيث أصبحت bypass ratio =(9) , كما تناقصت كلفة الصيانة بنسبة 20% , وتقلصت انبعاث الغازات المسببة بالتلوث بنسبة 40% .

قوة الدفع الصاروخية:

لقد استخدمت الصواريخ في الحروب النابليونية، كما أنها استخدمت في الحرب عام 1812، واستخدم الألمان صواريخ V-2 بكثرة إبان الحرب العالمية الثانية.

محركات Rocketdyne IH-1 , J-2 و F-1 كانت جيدة، وأدت إلى نجاح برنامج SATURN زحل، محركات SATURN I و SATURN IB استعملت قوة دفع من ثمانية محركات نوع H-1 في المرحلة الأولى، رواد فضاء أبولو APOLLO الأوائل سافروا إلى الفضاء على متن SATURN IB المزود بمحركات نوع H-1 , المحرك H-1 (عرضه4.9 قدم وطوله8.8 قدم) كان ذو قوة دفع ثابتة ويستخدم نظام الدفع RP-1 (نفط أبيض –كيروسين) وأكسجين سائل.

بحلول عام 1960، دعت وكالة NASA ناسا الشركات المتخصصة، إلى تقديم عروضها لتطوير محرك يعمل بالأكسجين والهيدروجين ذو غرفة احتراق وحيدة وقوة دفع 200.000 رطل، وفي زمن احتراق قدره 155 ثانية، ربحت شركة Rocketdyne هذه المنافسة، والمحرك الصاروخي أصبح معروفاً باسم J-2 (عرضه 6.8 قدم، وطوله 11.1قدم)، وقد كان محركا قويا، واستعمل الهيدروجين السائل للدفع قدرته225,000 رطل، في زمن احتراق قدره 500 ثانية، وكان أيضا اول محرك سريع الدفع، صمم لكي يستأنف التشغيل مرات متعددة اثناء المهمة.

كان المحرك J-2 متعدد الاستعمال، بحيث استعمل لكلتي المرحلتين الثانية والثالثة لزحل Saturn V في رحلته الصاروخية نحو القمر. لقد أوضحت تلك المهمات ان

المضخات تعمل بشكل مستقل لكل من الاكسجين السائل، والهيدروجين السائل، كما استعمل مولد غاز لتجهيز الغاز الساخن الى تربينين يشتغلان في السلسلة، كما توجد منظومة للسيطرة الهوائية والكهربائية، لها القابلية لاستئناف التشغيل عند الارتفاعات المختلفة، ونظام استخدام الوقود الدافع [12].

المحرك الاخر لشركة Rocketdyne الذي كان له تأثير عظيم على السباق الى القمر كان F-1 (12.2 قدم وطوله 18.5 قدم). وفي العام 1955 , بدأت الدراسة على محرك صاروخ ذو غرفة احتراق وحيدة وبقوة دفع حوالي مليون رطل, وبموجب عقد للقوات الجوية منحته لشركة Rocketdyne في العام 1958 ,تم تصميم مثل هذا المحرك, واطلق عليه F-1 وبمساعدة NASA تم انتاجه في خريف العام 1958 , مسؤولية تطوير المحرك الكبير انتقلت الى وكالة ناسا . فريق **فون براون** في مركز مارشال للفضاء MSFC ، كانت لديه الاقتراحات الأكثر أهمية لبناء العربات الكبيرة، لذا تم توجيهها للاستمرار بمثل هذه الدراسات، وتحت توجيهات ناسا، كان المحرك F-1 الذي أنتج قوة دفع تبلغ 1,5 مليون باوند في زمن احتراق قدره 150 ثانية.

محرك واحد فقط نوع F-1 يستطيع توليد قوة دفع تعادل ثلاثة اضعاف قوة دفع المكوك الفضائي الأول من هذه السلسة. وقد استعملت في المرحلة الأولى من المكوك الفضائي SATURN V الذي بلغ طوله 363 قدم، مجموعة مكونة من خمسة محركات نوع F-1.

بالرغم من ان محرك F-1 يستخدم الوقود المألوف، الا انه اثبت تحدي تقني هائل. وتحقيق استقرار الاحتراق في غرفة الاحتراق الوحيدة في مثل هذا الحجم لم يكن سهلا، وتطلب عدد كبير من تعديلات التصميم للمضي قدما في هذا العمل. المحرك F-1 استخدم وحدة تشغيل وحيدة، وتصميم ثابت الدفع. استعمل المحرك اكسجينا سائلا oxidizer للأكسدة، بينما RP-1 (نفط ابيض) استعمل كوقود، وكزيت لتشحيم المضخة

النفاثة، ووسائل نظام السيطرة. مولد غاز يستعمل نفس وقود الدفع لتشغيل التربينة، الذي كان يتجه مباشرة الى المضخة النفاثة.

كما ان وكالة **ناسا** وقعت مؤخرا مع شركة ATK-THIODOL عقدا بقيمة 2,4 مليار دولار، لإنتاج محركات تعمل بالوقود الصلب، لمشروع مكوك فضائي الذي يبلغ وزنه 4,5مليون رطل، إضافة الى 3,5 مليون رطل من الوقود، وهذا المكوك له محركان يعملان بالوقود الصلب، وكل منهما يولد قوة دفع مقدارها 2,6 مليون رطل، في زمن قدره 124 ثانية، وبسرعة 3000 ميل/ساعة، أوصلت المكوك الى ارتفاع 24ميلا.

- **محرك ويتله whittle:**

في العام 1930، تقدم الإنكليزي فرانك ويتله بمستندات للحصول على ترخيص بشأن محرك غاز تربيني للدفع النفاث، وكان المحرك يتكون من ضاغط ذو مرحلة واحدة متصل بتربينة من مرحلة واحدة أيضا، وتم اجراء الاختبارات عليه في ابريل من العام 1937، وفي العام 1939 قامت وزارة الطيران بتوقيع عقد مع شركة كان يتعامل معها **ويتله** بشأن تصميم محرك نفاث، وفي العام 1941 فان المحرك W1 حقق اول طيران له على متن الطائرة **جلوستر** نوع E28/39، والتي تمكنت لاحقا من الوصول الى سرعة 370 ميل/ساعة، اما قدرة المحرك فقد بلغت 1000 باوند.

****