# الفصل الثاني

- **الهيكل :**

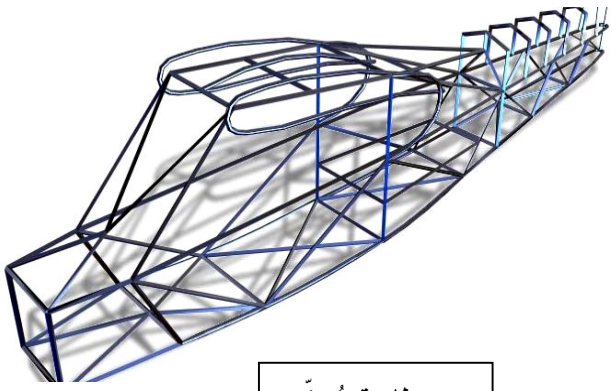
  - **نظرة عن قرب على علم إنشاءات الطيران :**

توالت في القرن العشرين الإنجازات العلمية الناجحة في مجال الطيران ، حيث طارت أول طائرة مقادة بمحرك عام 1907 ، وطارت أول طائرة مقادة بمحرك نفاث عام 1939 ، وطارت أول طائرة فوق صوتية عام1947 ، وصولاً إلى إنطلاق أول مكوك فضائي عام 1981 .

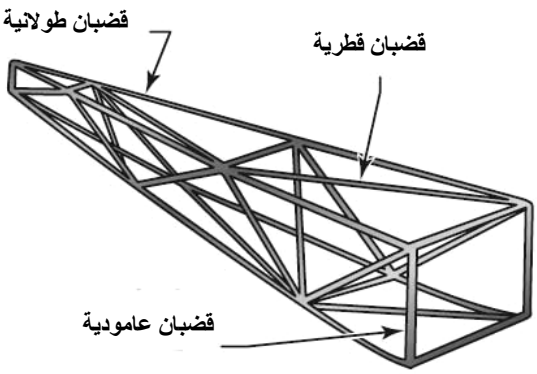
وكل هذه الإنجازات ما كانت لتتم دون حل الكثير من المشكلات الهندسية ، ويخصنا في هذا المجال تحليل وتصميم إنشاءات المَركبات الطائرة (Analysis and Design of Flight Vehicle Structure ) .

ومن المعلوم أن تحليل الإنشاءات يعتمد على علمي مقاومة المواد (Strength of Materials) ونظرية المرونة (Theory of Elasticity) ، حيث كانت وما زالت أهم مشكلة مطروحة هي الوصول إلى أخف وزن ممكن مع الإبقاء على عامل السلامة والأمان أعلى ما يمكن . ومن هنا تختلف إنشاءات المَركبات الطائرة (نماذج مصغرة أو طائرات حقيقية) عن غيرها من الإنشاءات كالإنشاءات المَدنية (كالجسور والأبنية) والإنشاءات الميكانيكية (كالآلات والسيارات) .

ولتحقيق خفة الوزن كانت هياكل الطائرات القديمة تتألف من قضبان (Struts) تشكل هيكلاً شبكياً (Truss) ، وتدعمها أسلاك (Wires) ، ويغطيها نسيج من قماش خاص(غير نفوذ للهواء) (Fabric) .

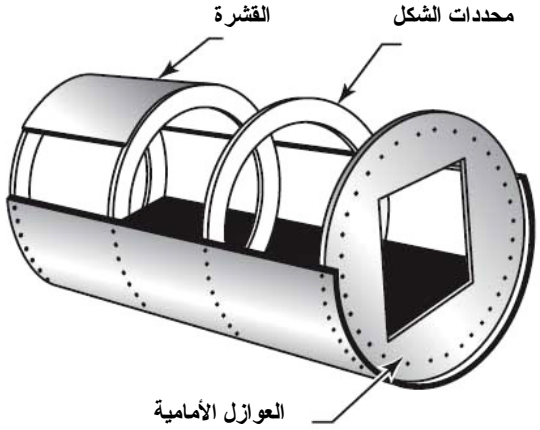


بدن طائرة مُصنّع بالإنشاءات الشبكية




الهياكل الشبكية Truss

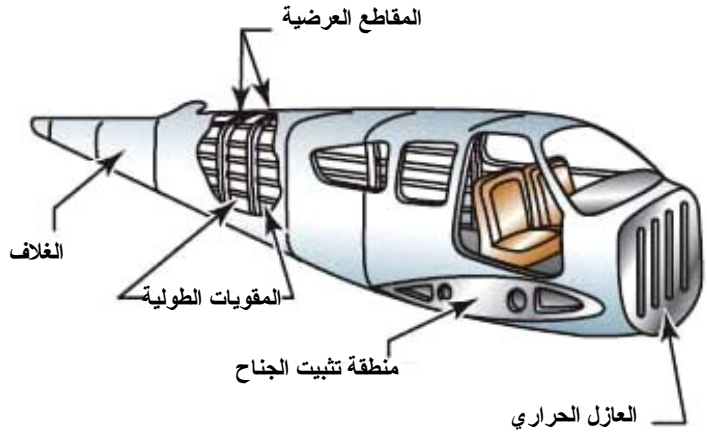
ومع حلول عام 1912 استُخدِمت الإنشاءات وحيدة القشرة أو أُحادية القشرة (Monocoque) وهي عبارة عن قشرة أسطوانية بلا عناصر تقوية وقد استخدمت مواد معدنية وغير معدنية (كالخشب) في هذه الإنشاءات .




**بدن طائرة مُصنّع بالإنشاءات أُحادية القشرة Monocoque**

غير أن التطور في علم الأيروديناميك جلب معه أشكالاً جديدة للجناح والبدن ، فظهرت الأجنحة المستدقة (المتناقصة المقطع) (Tapered Wings) والأجنحة المجترفة (المتراجعة للخلف) (Swept Wing) ، مما أدى إلى تعقيد الإنشاءات ، فظهرت طريقة الإنشاء المُسماة بشبه وحيدة القشرة (Semi-Monocoque) ، وهي تتألف من إنشاءات وحيدة القشرة مدعومة بعناصر تقوية (Stiffening Elements) عديدة .

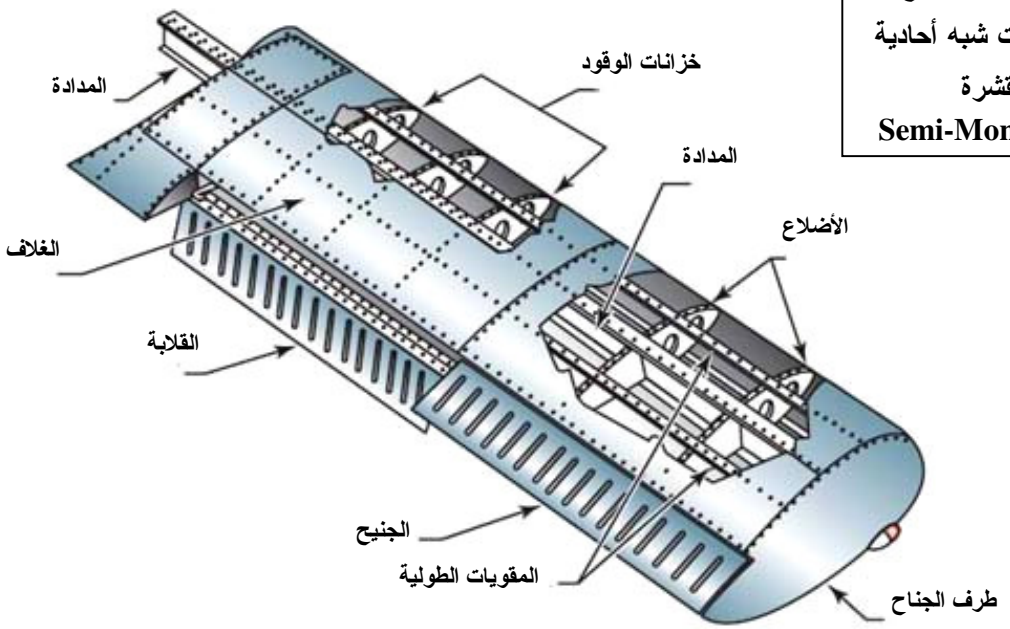
وعلى الرغم من إختلاف أشكال الأجزاء الرئيسية المُشكِلة للطائرة إلا أن تركيبها الإنشائي متشابه ، وبشكل عام يمكن القول بأن هناك شكلين تتدرج تحتهما الأجزاء الرئيسية للطائرة . فالبدن وغلاف المحركات لها شكل واحد ، وتتألف من ثلاث عناصر إنشائية رئيسية وهي الهياكل أو الإطارات أو المقاطع العرضية (Transverse frames) ، والغلاف (Skin) ، والمقويات الطولية (Longitudinal stiffeners) .




**بدن طائرة مُصنّع بالإنشاءات شبه أحادية القشرة Semi-Monocoque**

أما الأجنحة والذيل (الشاقولي والأفقي) وأسطح التحكم كلها لها شكل واحد أيضاً ، حيث تتألف من أربعة عناصر إنشائية رئيسية وهي العضد أو المدادات (Spar) ، والأضلاع (Ribs) ، والغلاف (Skin) ، والمقويات الطولية (Longitudinal stiffeners) .

**جناح طائرة مُصنّع بالإنشاءات شبه أحادية القشرة Semi-Monocoque**




حيث تقوم الأجزاء الإنشائية في الطائرات المُصنّعة بطريقة شبه وحيدة القشرة بثلاث مَهمات رئيسية : المُهمة الأولى أن تنقل وتقاوم القوى المؤثرة أو المطبقة على الطائرة ، أما المُهمة الثانية فهي أن تؤمن شكلاً إنسيابياً يتناسب مع متطلبات علم الأيروديناميك ، وأما المهمة الثالثة فهي حماية ما بداخل الطائرة من الظروف الجوية المحيطة بها أثناء أداء مهمتها .

فمثلاً تُحَدِد كل من الأضلاع في الجناح والإطارات العرضية في البدن شكل الطائرة الأيروديناميكي ، وبالنسبة للجناح تَتحمل كل من شِفاه المدادات (العضد) والمقويات الطولية الإجهادات الناظمية ، وكل من عصب المدادات (العضد) والغلاف إجهادات القص . أما البدن فتتحمل المقويات الطولية الإجهادات الناظمية ، أما الغلاف فيتحمل إجهادات القص .

- **تصميم الهيكل :**

بعد الإطلاع على عدد من النماذج الأخرى عن طريق الأنترنت ، وجدنا أن معظم النماذج تصنع بطريقتين رئيسيتين إما باستخدام الخشب أو باستخدام المواد المركبة ، لقد قمنا باستخدام الخشب كمادة إنشائية وذلك لتوفرها في السوق المحلي ، ولصعوبة تشكيل القوالب في حال استخدام المواد المركبة .

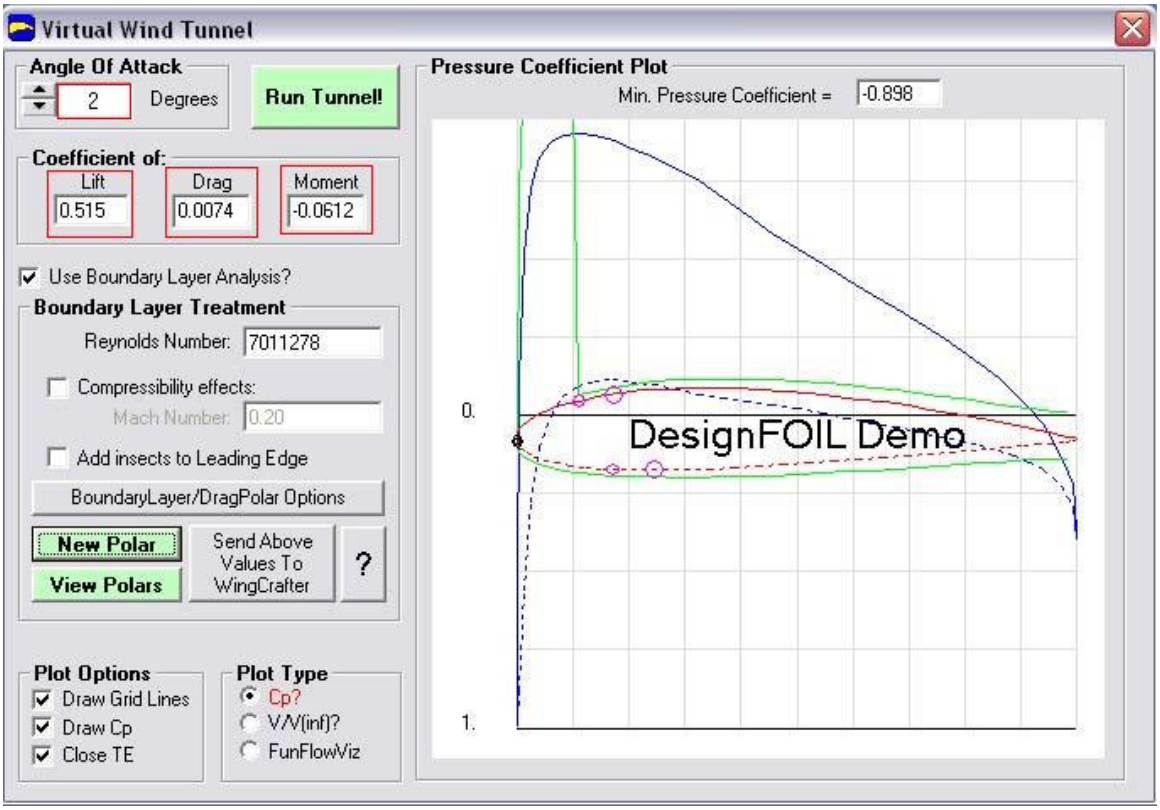
قمنا بالعمل على برنامج التصميم **SolidWorks** :

وهو برنامج رسم هندسي للأشكال الثلاثية الأبعاد ويقوم على مبدأ رسم كل قطعة من الهيكل على حدة ، ثم يتم تجميعها ضمن هيكل أو شكل محدد تبعاً لمجموعة من الروابط والعلاقات (مماسية ، متعامدة ، متمركزة) .

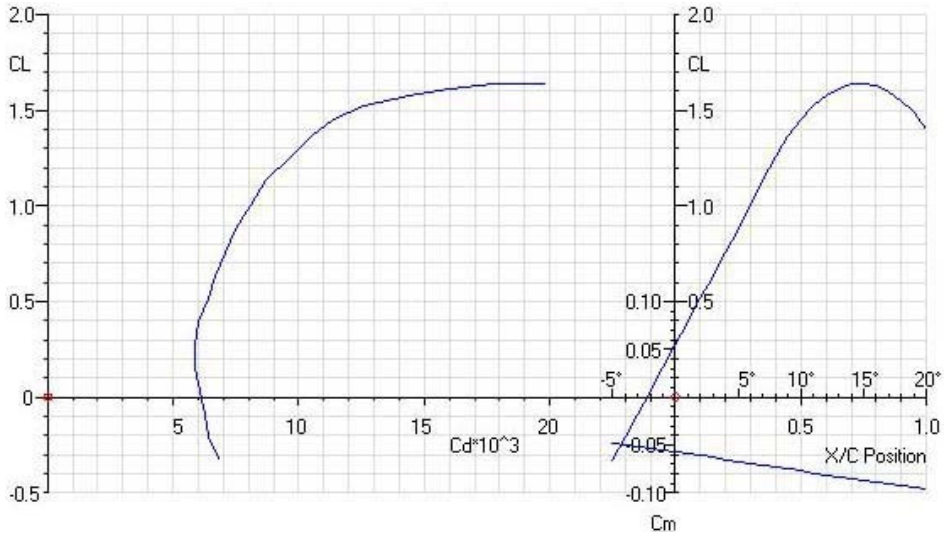
في بادئ الأمر قمنا بتصميم المقاطع الرئيسية للجناح وذلك لتتناسب مع المقياس المطلوب آخذين بعين الإعتبار شكل البروفيل النظامي للطائرة وهو NACA2414 ، وقد تم الحصول عليه من برنامج **DesignFoil**.

**الدراسة الإنشائية والتصميمية**

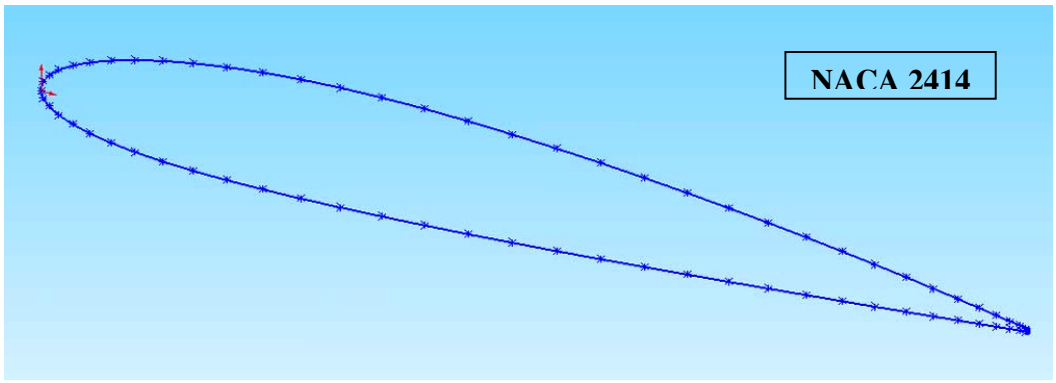
وهو برنامج سهل الإستخدام يُعنى بتصميم البروفيلات ويدرس كل من عوامل الرفع والجر والعزم ، ومن مزاياه الرئيسية وجود موسوعة كبيرة لأشهر البروفيلات العالمية ولذا قمنا بدراسة البروفيل السابق ضمن نفق هوائي رقمي عند زاوية هجوم $2^{\circ}$ درجة لحساب كل من عوامل الرفع والجر والعزم .

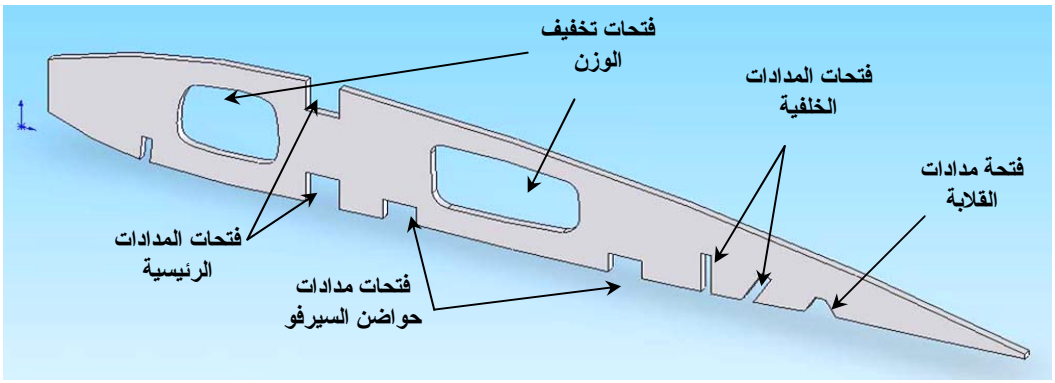


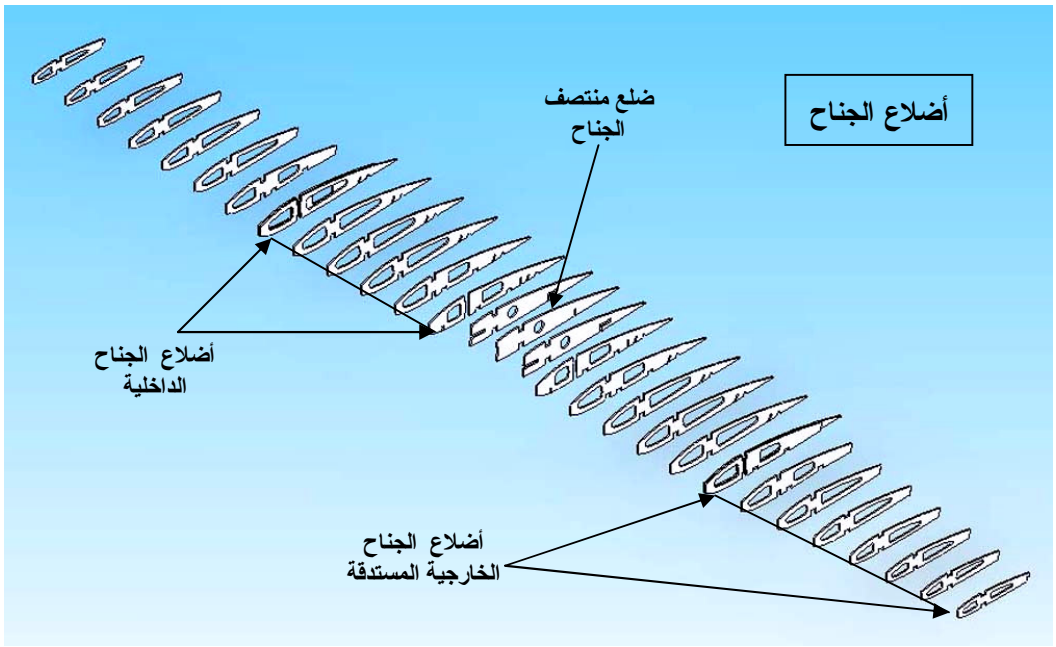

حيث حصلنا على مُخطط عامل الرفع وعامل العزم مع زاوية الهجوم ، والمُخطط القطبي :

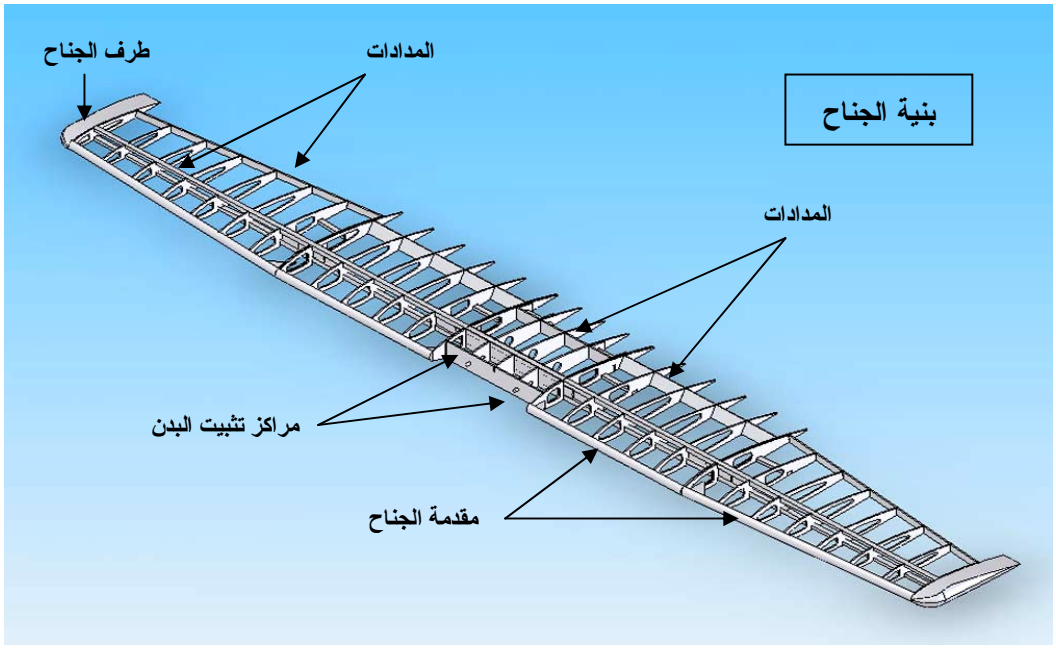


بعدها صدرنا البروفيل المطلوب من **Design Foil** إلى برنامج **SolidWorks** :

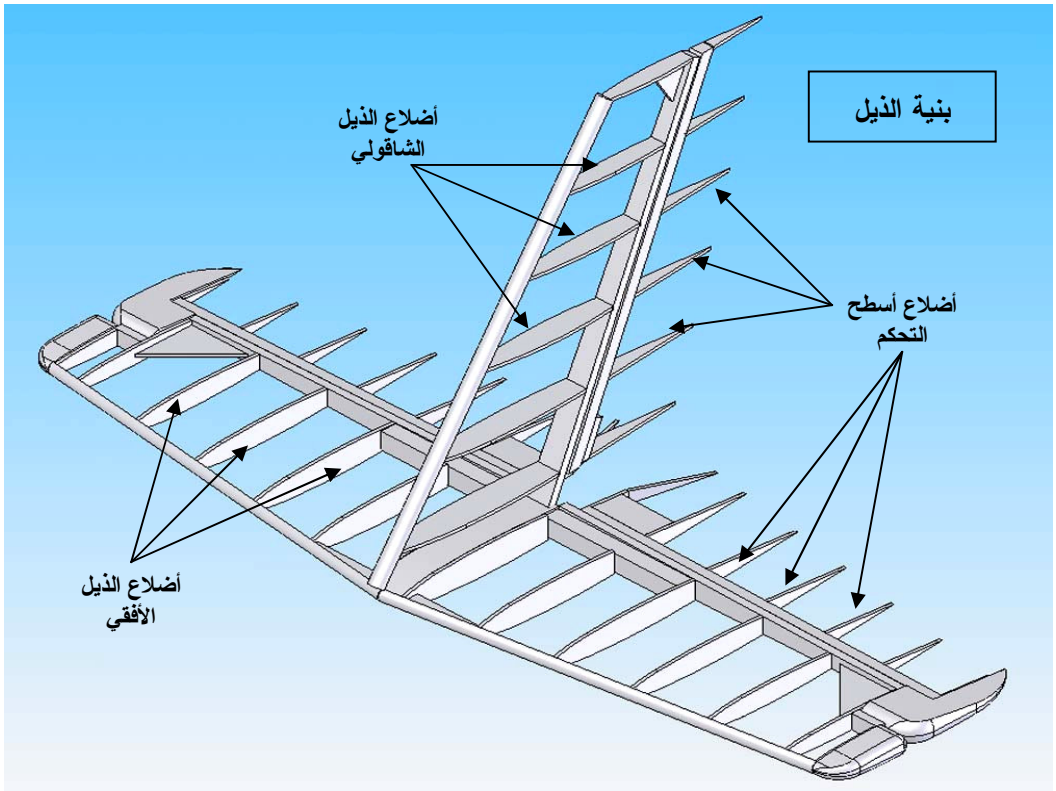


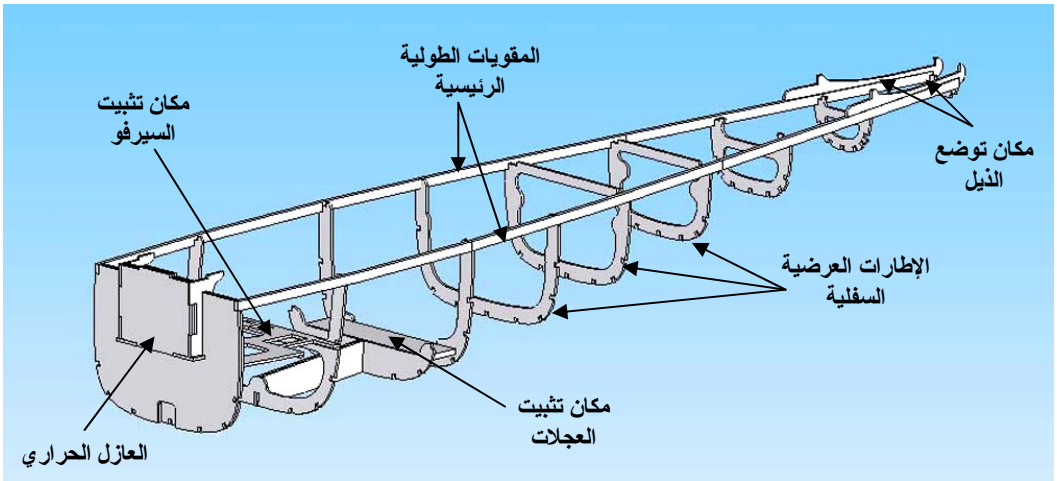





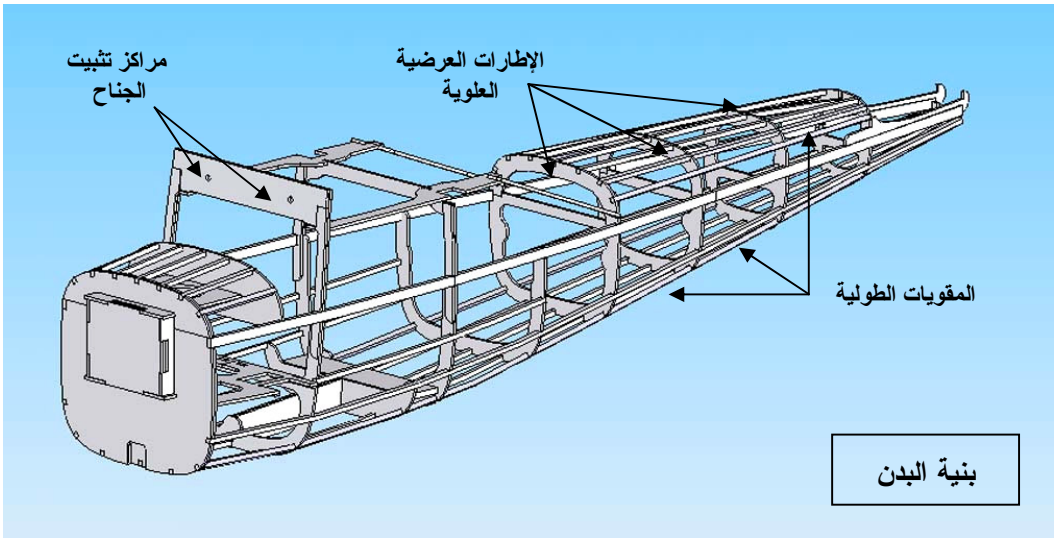

وبنفس الطريقة تمت عملية تصميم الذيل حيث تمت عملية رسم بروفيلات الذيل على أساس بروفيل متناظر **NACA 0012** وكما هو معلوم أن البروفيلات المتناظرة لا تولد رفع عند زاوية هجوم صفرية ، لذا لم تتم دراسته وفق **Design Foil** وبعدها تمت عملية الإنشاء وفق **SolidWorks** .



أما البدن فقد تم تصميم الإطارات العرضية أولاً و من ثم فتحت فيها فتحات المقويات الطولية وقد تم تصميمها وفقاً لجزئين ، جزء سفلي مثبت على مقويات طولية رئيسية ، وفيه أماكن توضع السيرفو وأماكن توضع عجلات الهبوط .

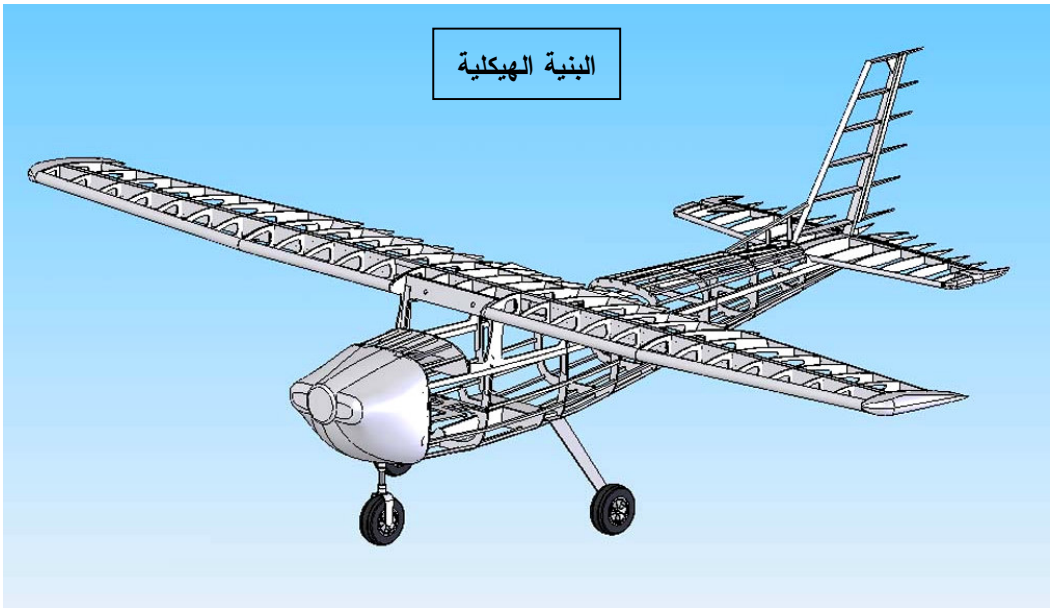



ومن ثم قمنا بتصميم الجزء العلوي للبدن ، وفيه أماكن تثبيت الجناح ، وبعد ذلك تم تصميم كافة المقويات الطولية و التي تكمل شكل البدن .



**الدراسة الإنشائية والتصميمية**

بعد الإنتهاء من القطع الأساسية لهيكل الطائرة نقوم بتجميعها و بإضافة العجلات الأمامية والخلفية ومقدمة الطائرة نحصل على الهيكل الكامل لنموذج طائرة **Cessna182 Skylane** .




ومن ثم نقوم بعملية التغليف ، وذلك لإعطاء الشكل الأيروديناميكي للطائرة .

بعد ذلك قمنا بتحديد نوع المواد المستخدمة (بشكل تقريبي) لكافة الأجزاء ، حيث يعطى الخشب لكل من الأضلاع والإطارات العرضية والمدادات الطولية والغلاف ، أما المعادن فلكل من مجموعة العجلات الأمامية والخلفية ، واللدائن للإطارات ..

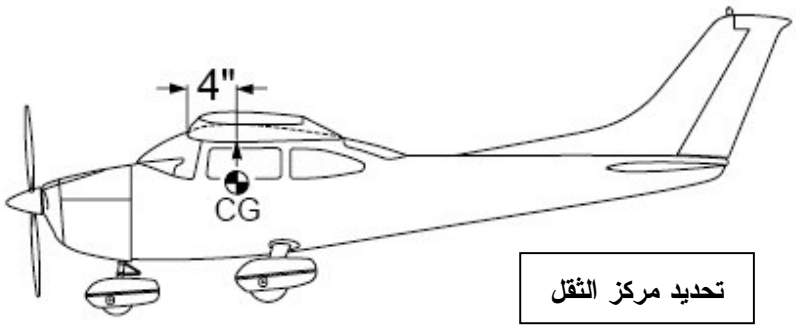
**الدراسة الإنشائية والتصميمية**

بعد الإنتهاء من التصميم يقوم برنامج **SolidWorks** بحساب المميزات الجيومترية للطائرة ككل وسنرفق هذه القيم في الجداول التالية :

| مساحة الأسطح (تقريبية) | |
|---|---|
| الواحدة | متر مربع |
| البـــــدن | 0.9134 |
| الجنـــــاح | 1.2608 |
| الذيل الأفقي | 0.2965 |
| الذيل الشاقولي | 0.1908 |

| الخواص العطالية | | |
|---|---|---|
| الكتلة (فارغة) | بالكيلوغرام | 5 |
| الحجم | بالمتر المكعب | 0.03 |

وتم تحديد مركز الثقل بشكل تقريبي على بعد 4 بوصة أي ما يعادل 102 ملمتر خلف حافة الهجوم لبروفيل الجذر ، ويتم التأكد من هذه المسافة بعد تركيب المحرك ومستقبل الإشارة والسيرفو .




**تحديد مركز الثقل**

---

## • المحرك :

### ▪ نظرة عن قرب على المحركات :

المحرك هو آلة حرارية تقوم بتحويل الطاقة الحرارية إلى طاقة ميكانيكية ، وهو المصدر الأساسي للطاقة الحركية على الطائرة ، حيث يربط مع المروحة والتي بدورها تولد الدفع اللازم تبعاً لعدد دوراتها .

لم نقم بعملية تصميم المحرك وذلك لصعوبة التصنيع ، لذا قمنا بعملية البحث عبر الإنترنت وقرأنا بعض التوصيات في إختيار محركات الإحتراق الداخلي لنماذج الطائرات ومن هذه التوصيات خفة الوزن والاستطاعة المقدمة وكمية استهلاك الوقود ونوع الوقود وتوافره في السوق المحلي .

لذا وقع الإختيار على محرك **O.S.91 cu.in.2-stroke** مواصفاته :

- ❖ **الوزن :** 550 غرام .
- ❖ **الوقود :** الميتانول المركز .
- ❖ **حجم حجرة الإحتراق :** 0.91 بوصة مكعبة ، تعادل 15 سنتيمتر مكعب .
- ❖ **عدد الدورات الأعظمي :** 22000 دورة في الدقيقة .
- ❖ **الاستطاعة :** 2.8 حصان عند 16000 دورة في الدقيقة .
- ❖ **المراوح القياسية :** شفرتين : 13x11~13 , 17x6 , 16x6~8 , 15x8
  3 شفرات : 14x7 (جميع الأرقام السابقة هي بالبوصة)

والجدير بالذكر أن هذا المحرك من المحركات الثنائية الدور أي أن الأشواط الأربعة للمحرك تتم خلال $360^{\circ}$ أي دورة كاملة لعامود المرفق ، لذا تمتاز هذه المحركات بتوزيع منتظم لعزم الفتل المطبق على الجزع المعقوف ، هذا الأمر الذي يولد نعومة وسلاسة في أداء المحرك مما يجعل هيكل الطائرة أكثر إستقراراً وتوازناً أثناء عملية الطيران .

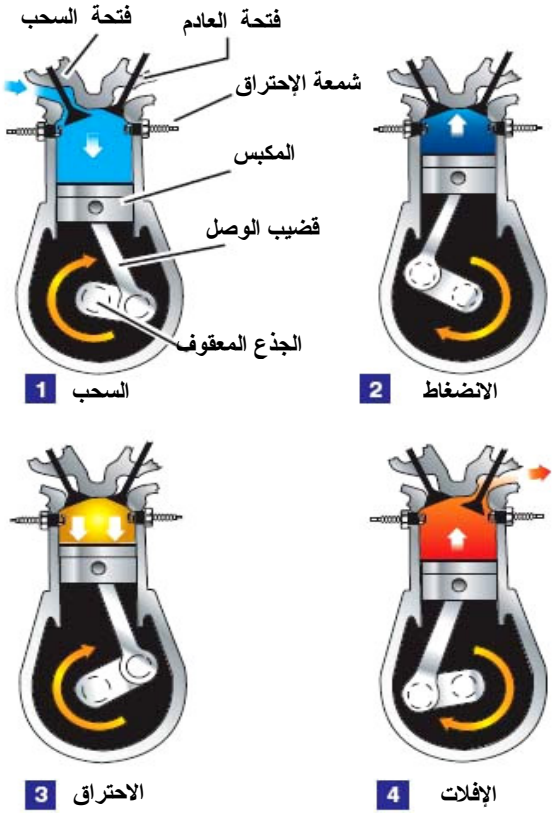
ويتم عادة استخدام عادم خاص يربط مع المحرك ويحتوي على صمام إفلات يربط مع الخزان وذلك لزيادة ضغط الخزان لضمان وصول الوقود إلى المحرك أثناء القيام بمناورة ما .

## آلية عمل المحرك :

تقسم دورة عمل هذا المحرك كما ذكرنا سابقاً إلى دورين (مشوارين) ، أو أربعة الأشواط :

- دور الصعود : في أثناء حركة المكبس من النقطة الميتة السفلى إلى النقطة الميتة العليا . تكون كل من فتحتي السحب والعادم (الدخول والخروج) مفتوحتين ليتسنى دخول المزيج (وقود وهواء) إلى الإسطوانة عبر فتحة الدخول ولتنظيف الإسطوانة من غازات الإحتراق عبر فتحة العادم (شوط السحب) حيث يُغلِق المكبس فتحة الدخول أولاً ثم فتحة العادم ، ولحظة إغلاق فتحة العادم يبدأ شوط الانضغاط والذي يستمر حتى وصول المكبس للنقطة الميتة العليا .

- دور النزول : ينزل المكبس من النقطة الميتة العليا إلى النقطة الميتة السفلى . بعد بدء عملية الإحتراق يتحرك المكبس بفعل الضغط إلى الأسفل حيث يبدأ شوط القدرة والذي يستمر حتى لحظة فتح فتحة العادم حيث يبدأ شوط الإفلات ويستمر خروج غازات الإحتراق مع حركة المكبس للأسفل حتى وصوله إلى النقطة الميتة السفلى ، وهكذا حتى تعود الدورة من جديد ...

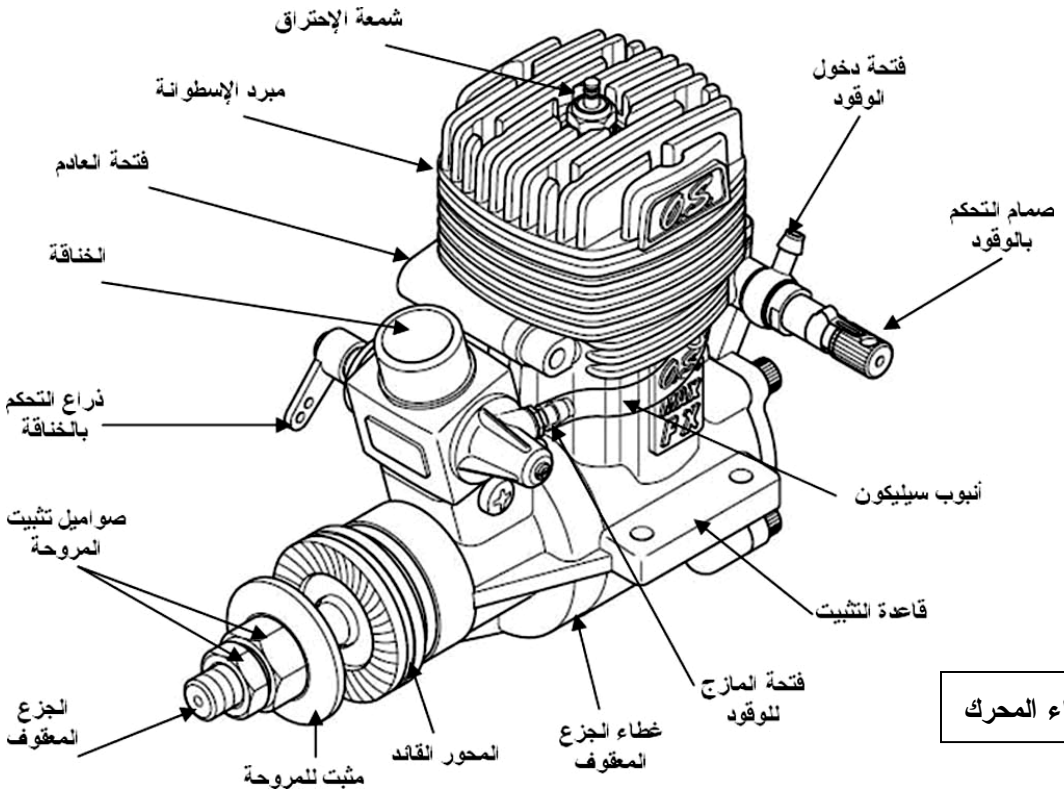


- **الوقود :**

يعمل المحرك **O.S.91 cu.in.2-stroke** على وقود الميتانول عالي التركيز ، والميتانول هي مادة كحولية تركيبها الكيميائي (CH3OH) ويقصد بعالي التركيز أن نسبة الرطوبة فيه لا تتجاوز (2%) ، ويعتبر الميتانول مادة سامة وسريعة الإشتعال ، وليس لها رواسب احتراق يمكن أن تتجمع داخل اسطوانة المحرك .

ومن أجل أداء أفضل للمحرك يخلط الميتانول عادة مع زيوت تشحيم أو زيت خروع بنسبة 80% ميتانول و 20% زيوت وذلك لتقليل الإحتكاك بين الإسطوانة والمكبس عند عملية الإحتراق ، لأن هذه المحركات لاتحتوي على دارة تزييت خاصة بها لذا يكون التزييت داخلياً مع الوقود وطوال فترة عمل المحرك .

ومن أجل الأداء عالي الجودة يتم إضافة بين 5~18% نيتروميتان (نتروجين سائل) ، وذلك من أجل التأكد من الإحتراق الكامل للوقود في المحرك .



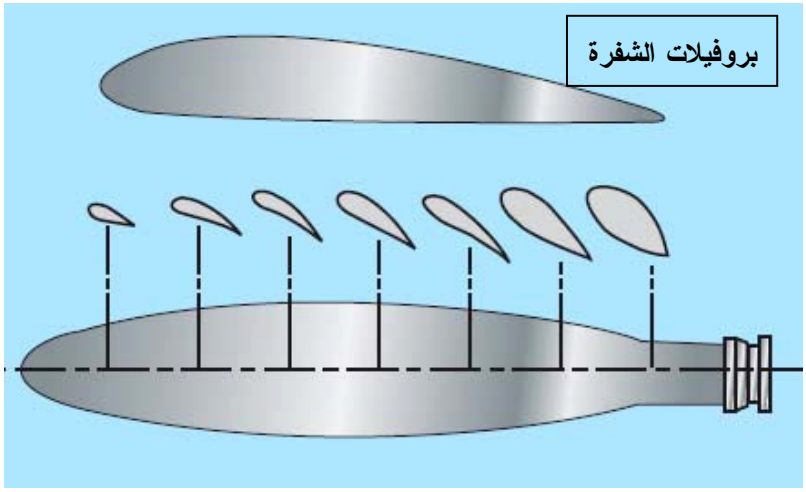

**أجزاء المحرك**

---

- **المروحة :**

  - **المبادئ الأساسية للمراوح :**

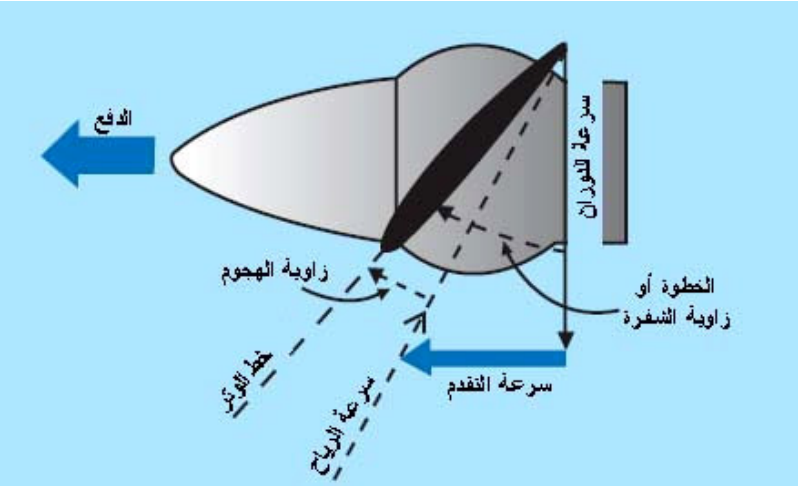
تتألف مراوح الطائرات بشكل عام من ريشتين أو أكثر تتصل مع بعضها عند محور مركزي . تعتبر كل ريشة بحد ذاتها عبارة عن جناح دوار ، ولها شكل هندسي آيروديناميكي بحيث يمكن إعتبارها جناح يتألف من عدد من البروفيلات المختلفة ، حيث تولد قوى دفع باتجاه الحركة وبذلك تولد استطاعة مفيدة ، بينما الأجنحة العادية تولد قوى رفع عمودية على اتجاه الحركة .



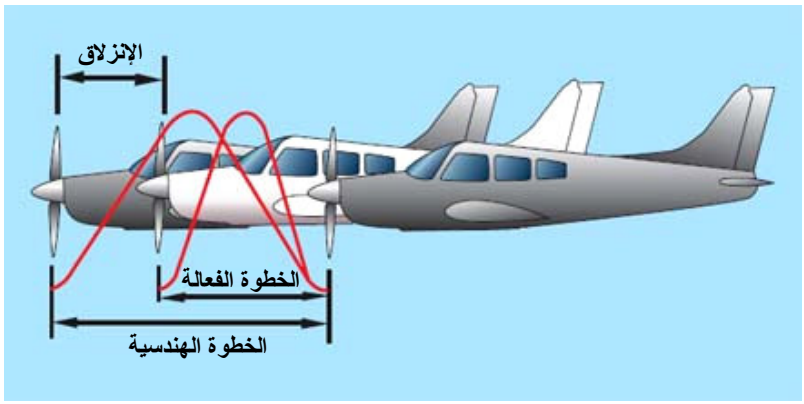

إذاً فالمراوح عبارة أداة تحول القدرة الميكانيكية المُنتَجة على محور المحرك إلى عمل مفيد يؤدي إلى شد الطائرة ، أي أنها تحول القدرة الدورانية الناتجة عن محور المحرك المكبسي إلى قوة دفع ، وهذه القوة تساوي إلى كتلة الهواء المار عبر المروحة في واحدة الزمن (التدفق الكتلي) مضروباً بسرعة الهواء .

وللمراوح قطر مُحدد أيضا وهذا القطر له إعتبارات مثل بُعد طرف الشفرة عن الأرض في حال وقوف الطائرة على الأرض ، وذلك لتجنب الاصطدام في حالة الإقلاع أو الهبوط . وكما في الأجنحة القياسية تقاس زاوية الهجوم لشفرة مروحة بالدرجات ، وهي الزاوية بين وتر الشفرة ومستوي الدوران ، أو الزاوية التي من خلالها يقوم الهواء بصدم الشفرة ، حيث تقاس في نقطة معينة من الشفرة لأن معظم المراوح تملك سطح مستوي بحيث يرسم خط الوتر على طول شفرة المروحة .

ومن بعض المميزات الأساسية ما يسمى بخطوة المروحة وهي ليست ذاتها زاوية الهجوم ولكن غالباً ما تحدد عن طريق زاوية الهجوم ، وأي زيادة في واحدة منهما يرافقها زيادة في الأُخرى .




وتُعرَّف خطوة المروحة بأنها المسافة التي تقطعها المروحة للأمام من أجل دورة واحدة للمروحة ، وهناك تعريفين للخطوة في كل المراوح ، أولاً الخطوة الهندسية للمروحة وهي عبارة عن المسافة التي تقطعها المروحة ضمن المائع خلال دورة كاملة ($360^{\circ}$) ، ثانياً الخطوة الفعالة للمروحة وهي تعبر عن المسافة المقطوعة في اتجاه محور الدوران من أجل دورة كاملة للمروحة . ونعرف إنزلاق المروحة بأنه الفرق بين الخطوة الهندسية والخطوة الفعالة .

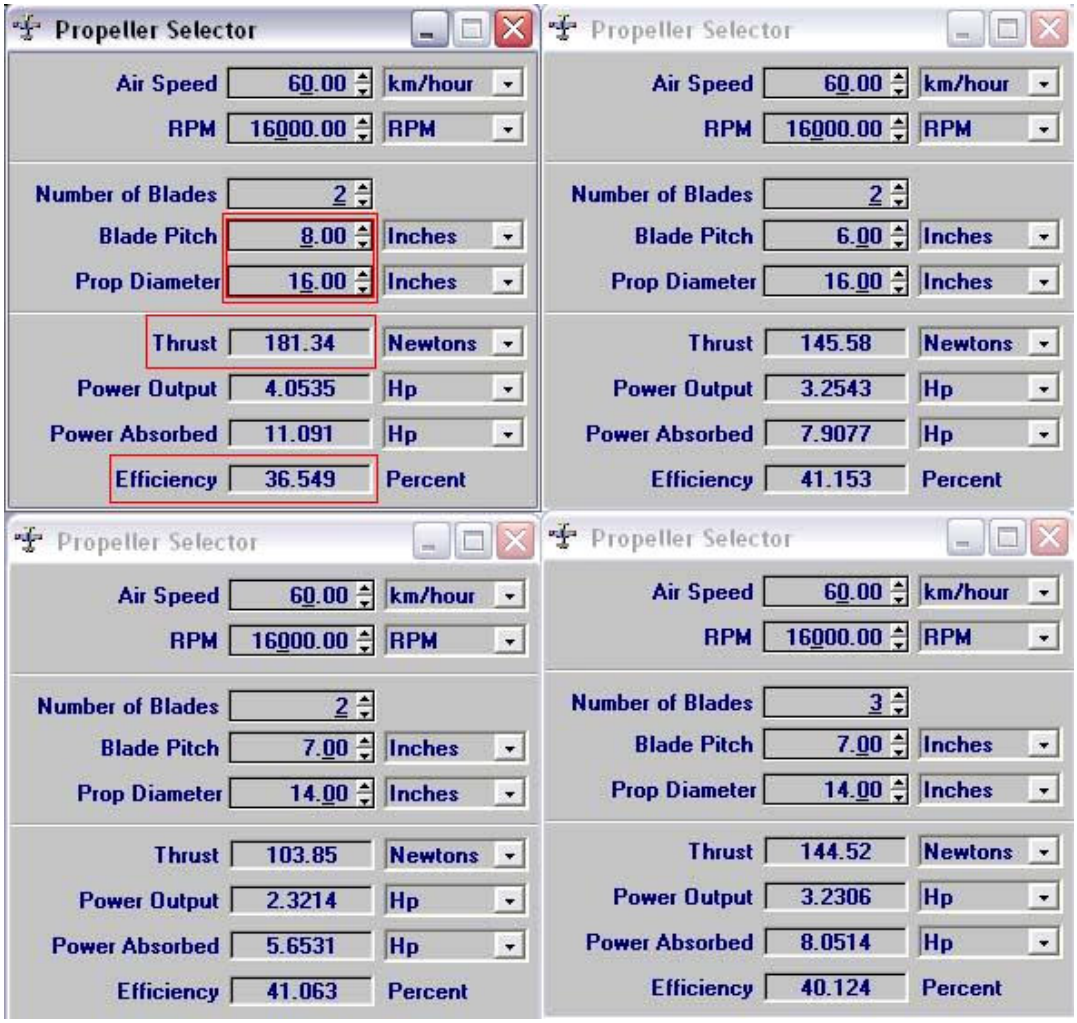



تقاس خطوة الشفرة بالبوصة (واحدة أطوال) فمن أجل مروحة مواصفاتها ("16x8") يقصد بـــ "16 قطر المروحة ، وبـــ "8 خطوة المروحة الفعالة . ولتحديد خطوة مروحة طائرة جديدة ، قمنا باختيار خطوة معينة ذات مردود جيد تناسب سرعة تطواف محتملة. وأي خطوة ثابتة يكون لها سرعة دوران محددة للمحرك تعطي المروحة عندها مردود عالي .

- **أسس إختيار المروحة :**

قمنا بدراسة المراوح القياسية التي يمكن استخدامها مع المحرك وذلك بتثبيت سرعة الطائرة على 60 كيلومتر في الساعة وعدد دورات المحرك على قيمة وسطية تقارب 16000 دورة في الدقيقة ، وتم الإختيار تبعاً لقوة الدفع التي تولدها المروحة و تبعاً لفعالية الطاقة وتعبر فعالية الطاقة عن قسمة الطاقة الصادرة من المروحة على الطاقة المقدمة من المحرك وتعطى الفعالية كنسبة مئوية .

تمت عملة الحساب و المقارنة وفقاً لبرنامج **Propeller Selector** :




حيث وقع الإختيار على مروحة ( **16"x 8"** ) ، حيث أنها تعطي أكبر دفع بفعالية جيدة نسبياً .

---

## • وحدة التحكم عن بعد :

### ▪ مفهوم التحكم عن بعد :

وهي عملية السيطرة والتوجيه عبر أجهزة ومعدات خاصة غير متصلة مع بعضها بأسلاك ، حيث يتم نقل الإشارة بين هذه الأجهزة عبر إشارات لاسلكية ، أي عندما نريد التحكم بوظيفة ما على سطح الطائرة يتم التحكم عن طريق التخاطب بين وحدة إرسال خاصة تكون مع القائد ووحدة استقبال تكون على سطح الطائرة ، حيث تقوم وحدة الإرسال بفهم الأوامر المدخلة إليها كجهد كهربائي ، ويتم التخاطب بين المرسل والمستقبل عبر إشارات لاسلكية مشفرة والتي تكون طبيعتها مرتبطة بقيمة الجهد الكهربائي الذي نرغب بنقله إلى المستقبل (حيث يرتبط كل من مطال وسعة الإشارة اللاسلكية مع قيمة الجهد) ، لذا تُعرَّف الإشارة اللاسلكية بالإشارة الحاملة للجهد ، حيث أن لكل جهد كهربائي مجال لترددات الإشارات اللاسلكية .

تنتشر هذه الإشارات بسرعة الضوء في كافة الاتجاهات وذلك بفعل الأجهزة الإلكترونية الموجودة في المُرسل ، حتى تصل إلى المُستقبِل الذي يكون قد فك تشفيرها أو برمجتها بحيث ينفذ الأوامر الصادرة عن نفس جهاز الإرسال دون غيره و بذلك يتم تجنب تداخل الإشارات و تنفيذ الإشارات الصادرة عن أجهزة أخرى .

ولحظة دخول الإشارة إلى المُستقبل يتم تحويلها إلى جُهد كهربائي و يتم تضخيمه أيضاً أو تعديله ليلائم الجهاز الذي يتحكم به ، حيث أنه في نموذجنا يتم التحكم بمجموعة من محركات السيرفو والتي تستخدم في تقنيات التنظيم والتحكم وذلك لإمكانيتها التوقف عند زاوية دوران محددة تبعاً لجهد معين .

تربط رؤوس السيرفويات الدوارة بأحد أطراف قضبان التحكم والتي تربط من الطرف الآخر بسطح التحكم المراد تحريكه للقيام بمناورة معينة ، حيث يتم تحويل الحركة الدورانية للسيرفو إلى حركة انسحابية لقضيب التحكم (قضبان الدفع) والتي تنقل الحركة الإنسحابية إلى سطح التحكم المتمفصل فيتحرك الحركة المطلوبة وفق زواية محددة ومبرمجة مسبقاً في جهاز التحكم وتبعاً لوضعية مفتاح التحكم .

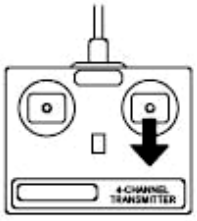
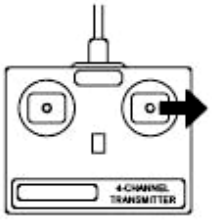
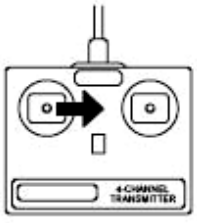
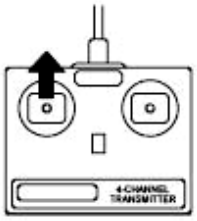
السيرفو

يعطي كل سيرفو عزم دوران ثابت لذا يمكن إختيار العزم المطلوب وذلك بإختيار الثقب المناسب على القرص الدوار ، فمن أجل إزاحة كبيرة وعزم صغير نسبياً نختار الثقوب البعيدة عن محور دوران القرص ، والعكس بالعكس .

لقد أستلزم المشروع سبعة سيرفويات تربط على خمس قنوات مع مُستقبل الإشارة ، حيث من الممكن ربط كل سيرفويين على التفرع مع قناة واحدة لأن الجهد يبقى ثابتاً عند التوصيل على التفرع ، والتَّوزُع على الشكل التالي :

- سيرفو عدد /2/ تربط مع الجنيحات (Ailerons) وتوصَّل على التفرع (سيرفو لكل جنيح) .
- سيرفو عدد /2/ تربط مع القلابات (Flaps) وتوصَّل على التفرع (سيرفو لكل قلاب) .
- سيرفو عدد /1/ يربط مع دفة العمق (Elevator) .
- سيرفو عدد /1/ يربط مع دفة التوجيه (Rudder) ومع العجلة الأمامية وذلك للتوجيه الأرضي (Taxi) .
- سيرفو عدد /1/ يربط مع خناقة المحرك (Throttle) .

وقد تم وصل السيرفويات بالقنوات الخاصة بها بحيث يتم التحكم بوضعية الطائرة على الشكل التالي :

| | | |
|---|---|---|
| **Pitch** |  | دفة العمق نحو الأعلى |
| **Roll** |  | الجنيح اليميني نحو الأعلى واليساري نحو الأسفل |
| **Yaw** |  | دفة التوجيه نحو اليمين |
| **Speed** |  | فتحة الخناقة أعظمية |

---