

الباب الثاني: الإطار النظري والدراسات السابقة

1-2 أنواع ومكونات علب السرعات:

1-1-2 المجموعة البسيطة:

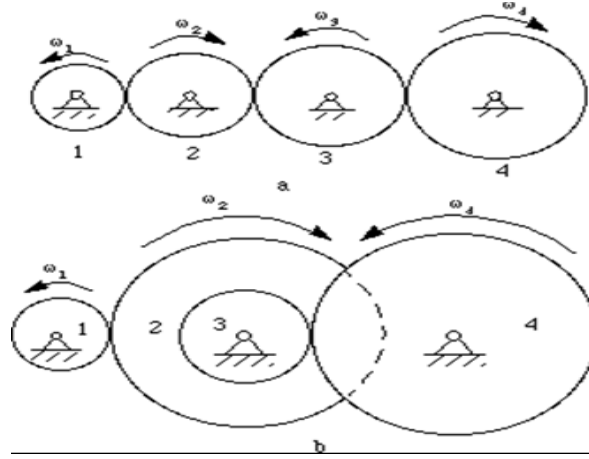
الشكل العام لمجموعة التروس البسيطة هو أن تتكوّن من ترسين أو عدد من التروس المتفاوتة الحجم والموصّلة على التوالي والتي تربط محاور الأعمدة المتوازية. وتعتبر منظومة العجلتين المسنّنتين والسلسلة (الجنزير) التي تُستخدم في الدراجات الهوائية هي من أبسط التطبيقات لمجموعة التروس البسيطة كما يوضح الشكل أدناه:



الشكل (1-2) يوضح مجموعة التروس البسيطة

2-1-2 المجموعة المركّبة:

المجموعة المركّبة أيضاً تتكون من عدد من التروس ولكن الفرق بينها وبين المجموعة البسيطة هو أن المجموعة المركّبة يكون فيها ترسين أو أكثر على نفس المحور، وكذلك نسبة تخفيض السرعة فيها تكون أكبر من نسبة التخفيض في المجموعة البسيطة ويوضح الشكل أدناه مجموعة التروس المركّبة:

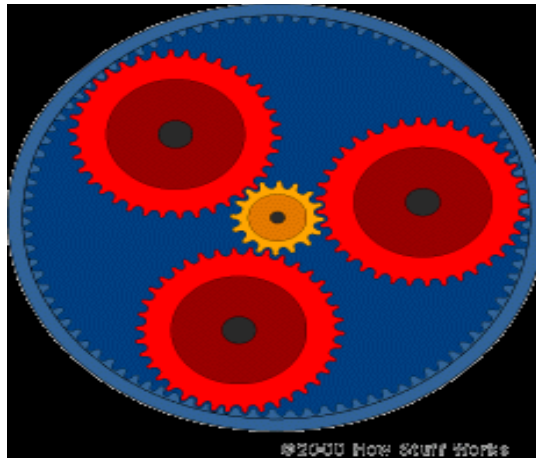


الشكل (2-2) يوضح مجموعة التروس المركبة

3-1-2 المجموعة الشمسية (المجموعة الإيسايكيلية):

في هذه المنظومة، الترس الذي في الوسط (الترس الشمسي) يكون متصلاً مع التروس الثلاثة (التروس الكوكبية) في آن واحد والتي بدورها تتصل مع الترس الكبير من الداخل، يبين الشكل (3-2) المجموعة الشمسية.

نقل القدرة من عمود الدخل الذي يكون متصلاً بالترس الشمسي إلى عمود الخرج الذي يكون متصلاً بالترس الحلقي. فعند دوران الترس الشمسي بسرعة كبيرة تدور معه التروس الكوكبية لكن بسرعة أقل من سرعة الترس الشمسي وذلك لأن حجمها أكبر من الترس الشمسي، والتروس الكوكبية تؤدي إلى دوران الترس الحلقي المتصل بعمود الخرج ولكن أيضاً بسرعة أقل من سرعة دوران التروس الكوكبية وبالتالي أقل من سرعة الترس الشمسي فيتم الحصول على سرعة مخفضة عند الخرج.



الشكل (3-2) يوضح المجموعة الإيسايكيلية

هنالك ميزة يمكن قولها عن المجموعة الشمسية وهي أنها يمكن أن تنتج نسب مختلفة للسرعات بالاعتماد فقط على أي من التروس يُستخدم في الدخل، وأي من التروس يُستخدم في الخرج، وأي التروس يجب تثبيته وأيضاً يجب تحريكه. تُستخدم المجموعة الشمسية في نواقل الحركة الأوتوماتيكية في السيارات، وكذلك في التحكم في القوة الناتجة عن البدال أوتوماتيكياً أو يدوياً في بعض أنواع الدراجات الهوائية، وأيضاً في نقل القدرة بين محركات الاحتراق الداخلي والموتورات الكهربائية.

2-2 علب سرعات ماكينات القطع:

تستخدم مجموعة تروس السرعات لتخفيض سرعة المحرك الكهربائي وإدارة عمود الدوران بالسرعة المختارة والمناسبة لقطر ونوع معدن المشغولة والتمكن من الحصول على سرعات مختلفة لعمود الدوران.

وتختلف علب تروس السرعات من ماكينة لأخرى وذلك حسب تصميمها فمثلاً في المخرطة الأفقية توجد علب السرعات في الراس الثابت وهي عبارة عن تروس منزلقة التي يمكن انزلاقها على أعمدة ومحاور بواسطة مخالب متحركة بحيث تسمح بتعشيق بعض التروس بينما لا تسمح بتعشيق البعض الآخر حسب السرعة المختارة وحيث يوجد زيت داخل صندوق تروس السرعات وذلك لتزليق التروس أثناء تشغيل المخرطة بحيث يصل الزيت الى جميع التروس عن طريق ترتيبه خاصة وأنابيب توصيل.



الشكل (2-4) يوضح علب سرعة

3-2 التصميم الهندسي:

نجد أن أهمية التصميم تكمن في إيجاد حل مناسب لمشكلة ما أو تطوير لتصميم سابق وذلك بالاستفادة من علوم الهندسة الميكانيكية (ميكانيكا الآلات، ميكانيكا المواد، تكنولوجيا التصنيع...) لإيجاد الخطوات المناسبة للتصميم لتحقيق الوظيفة التي صُمم من أجلها تحت ظروف التشغيل المحددة. والخطوات التي يمر بها تصميم منتج معين منذ أن يكون فكرة وحتى ظهوره في شكل تقرير مدعم بالرسومات الهندسية الجاهزة للتنفيذ في ورشة الإنتاج هي كما يلي [3]:

1- الشعور بالحاجة:

مهندس التصميم إنسان خلاق يمكن أن يشعر بأنه في حاجة لعمل شيء ما حيال ماكينة تستهلك اسبير بمعدل كبير أو حيال منتج عائد المادي قليل لارتفاع تكلفة إنتاجه أو حيال منتج منافسته بالسوق قليلة نسبة لأدائه المتواضع.

2- تحديد المشكلة:

هو وضع المشكلة في جملة مفيدة ثم وضع تصور لمواصفات المنتج الذي يحقق الهدف.

3- تكوين الحل:

يتم تكوين الحل في عدة مراحل هي:

أ- جمع المعلومات

مصادرها الكتب والدوريات وبيوت الخبرة أو الاختصاصيون والشركات المنتجة والمصنعة لمنتجات شبيهة (شراء التكنولوجيا)، وكذلك منشورات الجمعيات المهنية ومنها اتحاد مصنعي التروس الأمريكي (AGMA) .

ومن مشاكل جمع المعلومات:

- عدم وجود المعلومة.
- الشك في مصداقية المعلومة.
- وجود معلومات ضخمة يصعب تمحيصها.

ب- اقتراح عدة حلول:

اقتراح مجموعة من الخيارات المكونة للتصميم (الخيار يكون مجموعة من العلاقات الحركية والوضع النسبي للآليات المكونة للماكينة والتي تحقق الهدف).

ت- دراسة وتحليل الحلول المطروحة للوصول للحل الأمثل:

يتم تقييم الحلول المتحصل عليها للوصول للحل النهائي وفقاً للمعايير الآتية :

I. القوة والمتانة

II. الإعتمادية والسلامة

III. إمكانية التصنيع وتكلفة التصنيع

IV. المنافسة لمنتجات شبيهة في السوق

V. العمر

VI. الشكل

VII. الحجم والوزن الكلي

ث- عمل تصميم تفصيلي

هنا نقوم بوضع المواصفات للأجزاء المكونة للآلة (الشكل والأبعاد والسماحة) والمواد المصمم منها .

4- تقييم التصميم

يتم فيه مراجعة كل المعادلات المستخدمة من ناحية صحة التعويض، توازن الوحدات ومعقولية النواتج. قد يتطلب عمل موديل فعلي أو عمل محاكاة باستخدام تقنية CAD لإختبار أداء التصميم.

5- عرض التصميم

يجب أن يكتب التقرير بصورة واضحة ويتضمن رسومات هندسية واضحة بغرض إقناع الرئيس أو الزبون.

2-3-1 تصميم علب السرعات:

هناك خطوات أساسية متعارف عليها في تصميم علب التروس منها [10] :

- 1- تحديد السرعات القصوى والدنيا من عمود الخرج. ثم حساب عدد الخطوات أو مراحل تخفيض السرعة لهذا النطاق.
- 2- تحديد نوع سرعة المخفض أو علبة التروس بناء على متطلبات نقل الطاقة الكهربائية، ونسبة التروس، مراكز المحاور، والمساحة المتاحة لسرعة المخفض. أيضا يجب أن نتأكد من أن لنسبة التروس المنخفضة تتطلب تخفيض السرعة مرة واحدة. يمكن اختيار التروس الدودي لتشغيل هادئ والتروس المائلة المتقاطعة المحور.
- 3- تحديد نسبة التقدم التي هي سرعة نسبة الحد الأقصى والحد الأدنى من سرعة عمود إخراج صندوق التروس. وينبغي أن تكون أقرب نسبة تقدم على معيار واحد وتؤخذ إما من متسلسلة R 20 أو R 40.
- 4- رسم المخطط الهيكلي والترتيب الحركي بمراعاة مختلف احتمالات الترتيب من تخفيض للسرعة أو زيادتها.
- 5- اختيار المواد اللازمة للتروس بحيث نستطيع المحافظة على ظروف التشغيل وحمل التشغيل. يتم اختيار الحديد الزهر عادة ويمكن اختيار الفولاذ المصبوب أو سبائك أخرى وفقا لمتطلبات الحمل.
- 6- ملاحظة انخفاض الطاقة القصوى الخارجة في عدد الاحصنة (HP) أو انتقال القدرة والدورة في الدقيقة الواحدة من عمود أي دورة في الدقيقة لكل عمود.
- 7- تحديد مركز المسافة بين العمود المنقاد والعمود القائد بناء إجهاد الضغط المسلط على السطح.
- 8- تحديد موديول الترس بناء على عدد الأسنان المطلوبة.
- 9- حساب قطر الأعمدة حسب متطلبات عزم الدوران وافتراضات عزم الانحناء.
- 10- حساب مقاس وشكل ونوع مفاتيح النقل لكل ترس.
- 11- حدد التوافق والدقة المناسبة لتعشيق الأجزاء مثل العمود والترس.
- 12- تحديد أنواع المحامل على أساس التحميل وظروف التشغيل. يجب التأكد من افتراضات السرعة القصوى والعمر المتوقع للترس وعلبة السرعة.
- 13- جعل العمود متدرج لتجنب الإزاحة المحورية للترس والمحمل.

- 14- عمل خلوص مناسب بين التروس وجدران العلبة بناء على افتراضات التصميم.
- 15- إكمال تصميم الغلاف للرسم.
- 16- إتمام الرسم بواسطة البرامج المناطة بذلك مثل AutoCAD، Pro Engineer، الخ. مع مراعاة التفاصيل المطلوبة للتصنيع والتجميع .
- 17- يمكن أيضا إجراء تحليل العناصر المحدودة finite element analysis لصندوق التروس بعد إكمال التصميم.

2-4 التروس وأنواعها:

التروس هي عجلات ذات أسنان بأشكال خاصة وهي عناصر مكنية يستفاد بها في نقل عزم الدوران أو الحركة الدورانية مباشرة من عمود لآخر [1].

تتميز التروس بنقل الحركة الدورانية أو تحويلها إلى حركة مستقيمة خلال مسافات قصيرة دون فقد في السرعة وذلك لعدم وجود انزلاق مثل الذي يحدث بالسيور مع طاراتها كما أن التروس المختلفة القطر يمكن تعشيقها مع بعضها البعض للحصول على فائدة ميكانيكية مهمة، وهي أن السرعة الدورانية والعزم في الترس الثاني تكون مختلفة عن السرعة الدورانية والعزم في الترس الأول.

2-4-1 أنواع التروس:

توجد أنواع متعددة من التروس والتي يختلف استخدام كل منها عن الآخر باختلاف شكل أسنانها. فيما يلي عرض لأنواع التروس كل منها على حدة [1]:

1- التروس ذات الأسنان المستقيمة (العدلة)

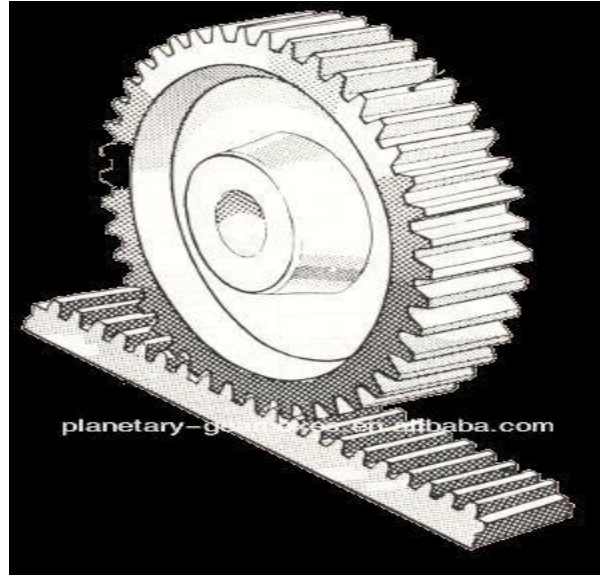
أسنانها مستقيمة وموازية لمحورها وتعتبر هذه التروس من أكثر أنواع التروس انتشاراً في نقل الحركة الدائرية للأعمدة المتوازية. ويوضح الشكل أدناه الترس العدل.



الشكل (6-2) يوضح ترس عدل

2- التروس ذات الأسنان المستقيمة والجريدة المسننة

تستعمل التروس ذات الأسنان المستقيمة مع الجريدة المسننة في تحويل الحركة الدائرية إلى حركة مستقيمة والعكس كما يوضح الشكل أدناه. أقرب مثال لذلك هي عربة المخرطة التي تتحرك على الفرش نتيجة لدوران ترس عدل على الجريدة المسننة المثبتة بأسفل الفرش مباشرة.



الشكل (7-2) يوضح التروس ذات الأسنان المستقيمة والجريدة المسننة

3- التروس ذات الأسنان المستقيمة الداخلية

تستخدم في نقل الحركة الدائرية بين الأعمدة المتوازية عندما تكون المسافة بين محوريها صغيرة جداً.

4- التروس ذات الأسنان المائلة

تستخدم هذه التروس في نقل الحركة الدائرية في الأعمدة المتوازية بصناديق تروس آلات القطع. تتميز بالمتانة والتعشيق السلس والتشغيل الهادئ الأكثر انتظاما والخالي من الاهتزازات ومن عيوبها وجود قوى دفع جانبية. ولها أسنان مائلة على محاورها بزاوية مناسبة كما يوضح الشكل أدناه:



الشكل (8-2) يوضح ترس ذو سن مائل

5- التروس ذات الأسنان المائلة المزدوجة

تحتوي كل منها على صفان من الأسنان المائلة كما يوضح الشكل (9-2) أدناه. تستخدم في نقل الحركة الدائرية للأعمدة المتوازية للسرعات للقوى الكبيرة والغرض من ازدواج الأسنان المائلة هو امتصاص الضغط المحوري الواقع على الأعمدة ومنع نقله للمحامل. تتميز بالتعشيق السلس والتشغيل الهادئ الخالي من الاهتزازات بالإضافة إلى عدم وجود قوى دفع جانبية.



الشكل (9-2) يوضح ترس ذو سن مائل مزدوج

6- التروس المخروطية ذات الأسنان المستقيمة

هي تروس على هيئة مخروط ناقص سطحها مشكل بأسنان مستقيمة كما يوضح الشكل (2-2). تستخدم هذه التروس عادة في نقل الحركة الدائرية بين عمودين متعامدين كما تستخدم بين الأعمدة المتقاطعة ذات الزوايا الحادة والمنفرجة بشرط أن تكون محاور تماثلها متقاطعين ويقعان في مستوى واحد



الشكل (2-10) يوضح ترس مخروطي ذو سن مستقيم

7- التروس المخروطية ذات الأسنان المائلة

هي تروس على هيئة مخروط ناقص سطحها مشكل بأسنان مائلة تستخدم هذه التروس في نقل الحركة الدائرية للأعمدة المتعامدة. تتميز بالتعشيق السلس والتشغيل الهادئ.

8- التروس المخروطية الحلزونية

هي تروس على هيئة مخروط ناقص سطحها مشكل بأسنان مقوسة (على شكل قوس من دائرة) كما يوضح الشكل (2-11). تستخدم عادة في نقل الحركة الدائرية بين الأعمدة المتعامدة للسرعات والقوى الكبيرة، كما يمكن استخدامها في نقل الحركة للأعمدة المتقاطعة، بشرط تطابق أسنان التروس المعشقة. تتميز هذه التروس بالمتانة والتعشيق السلس والتشغيل الهادئ دون أن تصدر ضجيجاً بالمقارنة مع التروس ذات الأسنان المستقيمة.



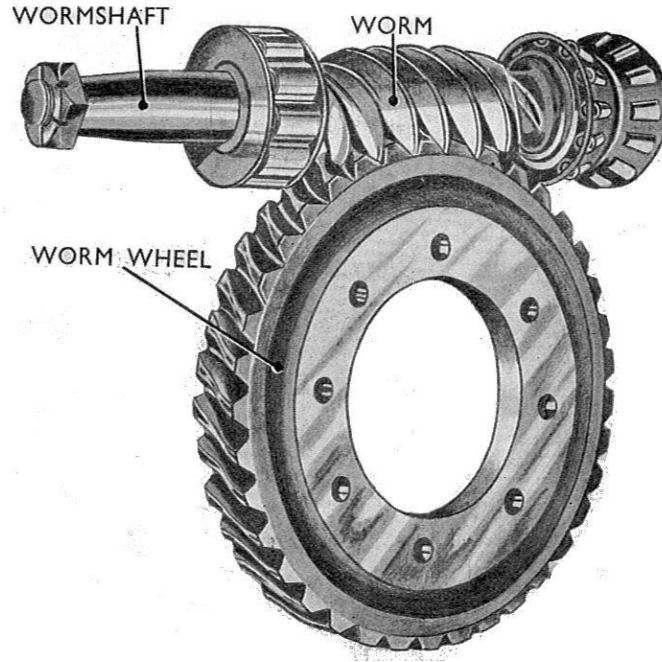
الشكل (2-11) يوضح ترس مخروطي حلزوني

9- التروس الحلزونية المتعامدة:

هي تروس أسطوانية أقطارها الخارجية مشكلة بأسنان مقوسة (على شكل قوس من دائرة). تستخدم في نقل الحركة الدائرية للقدرات الصغيرة بين الأعمدة المتعامدة. من أهم عيوب التروس الحلزونية المتعامدة هو عض الأسنان، لذلك يستخدم لتزليقها أثناء تشغيلها الزيوت العالية اللزوجة لتلافي العض. تعتبر التروس الحلزونية المتعامدة من مجموعات التروس قليلة الانتشار لكثرة عيوبها بالإضافة إلى صغر عزم الدوران المنقول.

10- الترس الدودي والعجلة الدودية:

يسمى الترس الدودي بالبريمة اللانهائية. يستخدم الترس الدودي والعجلة الدودية لنقل الحركة الدائرية بين الأعمدة المتعامدة كما يوضح الشكل (2-12). يفضل استخدام الترس الدودي والعجلة الدودية عندما يتطلب الأمر الحصول على نسبة تخفيض كبيرة جداً في نقل الحركة عند دوران الترس الدودي دورة كاملة، تتحرك العجلة الدودية بمقدار سنة واحدة فقط.



الشكل (12-2) يوضح ترس دودي و عجلة دودية

مميزات نقل الحركة بالتروس الدودية:

- 1-صغر حجمها.
- 2-التشغيل الهادئ بدون أي ضوضاء.
- 3-سهولة صيانتها.
- 4-إمكانية الحصول على نسبة كبيرة لنقل الحركة بين الأعمدة المتعامدة بأبعاد غير كبيرة نسبياً.

عيوب نقل الحركة بالتروس الدودية:

- 1-الفقد الكبير في القدرة.
- 2-انخفاض كفاءة أدائها لا يسمح باستخدامها لنقل الأحمال الكبيرة .

2-4-2 مصطلحات خاصة بتصميم التروس[6]:

الخطوة (p):

تسمى أيضاً بالخطوة الدائرية، وهي عبارة عن البعد بين نقطة منتصف السنة على دائرة الخطوة ونقطة منتصف السنة التي تليها، أو هي البعد بين نقطة بداية سنة على دائرة الخطوة ونقطة بداية السنة التي تليها.

الموديول (m) :

يسمى أيضاً بالمقنن، وهو البعد الأساس الذي يرتبط به جميع أبعاد الترس وهو رقم نمطي يدل على الطول الذي يشغله كل سنة من قطر دائرة الخطوة مقسوماً على عدد الأسنان.

قطر دائرة الخطوة (d) :

هي دائرة وهمية تقع بين الدائرة التي تمر بقمم أسنان الترس (القطر الخارجي للترس) وبين الدائرة التي تمر بقاع أسنان الترس (قطر قاع السن).

قطر دائرة الجذع (df):

يسمى أيضاً بقطر دائرة القاع، وهي الدائرة السفلى التي تمر بقاع أسنان الترس.

ارتفاع السن الكلي (Hz):

يسمى أيضاً بعمق التفريز، وهو الارتفاع المقيس بين قمة سنة وقاعها.

ارتفاع السن العلوي (ha):

هو الارتفاع بين قمة السنة وقطر دائرة الخطوة ويساوي الموديول.

ارتفاع السن السفلي (hf):

هو الارتفاع بين دائرة الخطوة وقاع السن.

عرض الفراغ بين الأسنان (e):

هو البعد بين نقطة نهاية سنة وبداية السنة التي تليها مقاسة على دائرة الخطوة.

عدد أسنان الترس (z):

هو عدد الأسنان البارزة أو عدد الفراغات بينها على محيط الترس.

البعد بين محوري ترسين (a):

هو البعد بين محوري الترسين القائد والمنقاد، ويعادل مجموع نصف قطر دائرة الخطوة لكل من الترس القائد والترس المنقاد.

الخلوص بين الترسين (c):

يسمى خلوص الرأس، وهو مقدار البعد بين قمة أسنان الترس القائد وقاع أسنان الترس المنقاد.

2-4-3 نسبة السرعة بين التروس:

تُعرّف نسبة السرعة على أنها النسبة بين سرعة الترس القائد إلى سرعة الترس المنقاد، أو العكس. إذا كان لدينا ترسان معشّقان مع بعضهما البعض، أحدهما هو الترس القائد الذي قطره d_1 وسرعة دورانه N_1 وسرعته الزاوية ω_1 ، والآخر هو الترس المنقاد الذي قطره d_2 وسرعة دورانه N_2 فإن السرعة الزاوية لكلا الترسين ستكون وسرعته الزاوية ω_2 فإن السرعة الزاوية لكلا الترسين ستكون:

للترس القائد:

$$\omega_1 = 2\pi N_1 \text{ ————— (1)}$$

للترس المنقاد:

$$\omega_2 = 2\pi N_2 \text{ ————— (2)}$$

وأيضاً فإن السرعة الخارجية للترسين عند التعشيق ستكون متساوية، وتعطى ب:

$$V_p = \omega \times d_1/2 = \pi \times d_1 \times N_1 = \omega_2 \times d_2/2 = \pi \times d_2 \times N_2 \text{ — (3)}$$

إذاً، فإن نسبة السرعة هي (n) :

$$n = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{d_1}{d_2} \text{ ————— (4)}$$

وإذا كان لدينا أيضاً T_1 و T_2 هما عدد أسنان الترس القائد والترس المنقاد على التوالي،

وكان

الترسان لهما نفس الموديول m فإن:

قطر الترس القائد يعطى بالمعادلة:

$$d1 = mT1 \text{—————} (5)$$

وقطر الترس المنقاد يعطى بالمعادلة:

$$d2 = mT2 \text{—————} (6)$$

إذاً، فإن نسبة السرعة n تكون:

$$n = \frac{N2}{N1} = \frac{d1}{d2} = \frac{T1}{T2} \text{—————} (7)$$

2-5 الأعمدة والمحامل في علب السرعات:

2-5-1 الأعمدة:

العمود هو آلية دوران تنقل القدرة بمعونة قوى مماسيه ومحصلة عزم اللي ولنقل القدرة من عمود لآخر يلزم وجود عناصر مختلفة (التروس والمحامل والخوابير ...) هذه العناصر الميكانيكية والقوى تسبب انحناء للعمود لذلك يجب أن يكون التصميم دقيق لتجنب هذه المشاكل العمود يمكن أن يكون أسطوانى أو مربع (مصمت أو مجوف).

مادة العمود يجب أن تكون:

- مقاومة للتآكل
- لها قابلية عالية التشغيل
- تمتاز بقوة عالية

2-5-2 أنواع الأعمدة:

هناك نوعان من الأعمدة هما:

❖ أعمدة نقل الحركة Transmission shafts

تستخدم لنقل القدرة الحركية من مصدرها إلى الجزء الذي يلتقي هذه الحركة مثل الأعمدة الخطية (Coater and Shafts) وجميع الأعمدة التي تستخدم في المصانع التي تحمل أجزاء المكنائن مثل الطارات والتروس. ولذلك فهذا النوع يكون عرضة للحنى واللي.

❖ أعمدة الماكائن Machine shafts

تشكل هذه الأعمدة أجزاء أساسية في الماكينات نفسها مثل عمود المرفق (Crank Shaft) وعمود الحدبات (Cam Shaft) وهي أجزاء لا يمكن الاستغناء عنها وتكون دقيقة الأبعاد وذات أشكال هندسية منتظمة وتؤدي عملاً معيناً مصممة لأجله.

3-5-2 تصميم العمود الرئيسي (Spindle):

i. متطلبات التصميم:

تعتمد دقة التشغيل في الماكينات على دقة دوران العمود الرئيسي ويقتضي ذلك تصميم العمود الرئيسي بالمتطلبات الآتية:

1. دقة الدوران: وتقاس بالغريلة (vaunt) التي تحدث في المقدمة التي يربط فيها الطرف (nose) وهي تمثل أقصى إزاحة على المحور الطولي وأقصى إزاحة في المحور العرضي للعمود الرئيسي وتحدد القيم المسموح بها حسب المواصفات القياسية المتبعة عند التصميم.
2. الجساءة: هي مقدرة العمود الرئيسي على البقاء في وضعه الصحيح عند تعرضه للقوة التشغيلية، انحراف العمود الرئيسي عما هو مقرر يؤدي لتشغيل غير دقيق ويؤدي لتلف سريع في المحامل والتروس.
3. الاهتزاز: يؤخذ الاهتزاز في الاعتبار عند تصميم ماكينات التشغيل التي تعمل بسرعة عالية.
4. مقاومة البري في الأسطح الاحتكاكية: عند تصميم العمدان الرئيسية التي تتحرك محورياً إضافة إلى دورانها مثل حالات ماكينات الثقب والتجويف، هنا يجب تصليد الأسطح التي تتعرض للبري ولدرجات تصل إلى 60RC.

ii. معدن التصنيع والتشكيل:

المتطلبات للعمود الرئيسي هي الصلابة التي تعتمد بصورة رئيسية بالإضافة لشكل المقطع على معامل المرونة E والذي له قيم متقاربة في كل أنواع الحديد لذا نستخدم الحديد متوسط الكربون لصناعة العمود الرئيسي. أهم ملامح الشكل في العمود الرئيسي هو المقدمة والتي تأخذ عادة أشكال قياسية مثل المواصفات القياسية الروسية GOST 428 للمخارط.

iii. معادلات التصميم [7]:

يصمم العود الرئيسي كعمود مسند إسناد بسيط يتعرض لقوى تؤدي به إلى الإنحناء والذي يجب ألا يتعدى حدود معينة في نطاق $0.0002L$
 $L \equiv$ طول العمود

ويتم تصميم الأعمدة على أساسين:

1- المتانة (Strength).

2- الصلابة والجساءة (Rigidity and Stiffness).

عند تصميم الأعمدة على أساس المتانة تؤخذ الحالات التالية:

1. أعمدة معرضة لعزم اللي فقط.
2. أعمدة معرضة لعزم اللي فقط.
3. أعمدة معرضة لعزم اللي واللي.

■ الأعمدة المعرضة لعزم اللي فقط

عندما يتعرض العمود لعزم اللي فقط يمكن إيجاد القطر بواسطة معادلة اللي:

$$\frac{T}{J} = \frac{\tau}{r} \quad (8)$$

حيث:

$T \equiv$ عزم اللي المؤثر على العمود

$J \equiv$ عزم القصور الذاتي القطبي للعمود

$\tau \equiv$ إجهاد القص

$r \equiv$ نصف قطر العمود

وفي الأعمدة المصمتة:

$$T = \frac{\tau d^3}{16} \quad (9)$$

حيث:

$d \equiv$ قطر العمود

من هذه المعادلة يمكن إيجاد قطر العمود اللازم لتحمل العزم المسلط عليه. وللأعمدة المجوفة العلاقة تكون كالتالي:

$$J = \frac{\pi(d_o^4 - d_i^4)}{32} \quad (10)$$

حيث:

$d_i \equiv$ القطر الداخلي

$d_o \equiv$ القطر الخارجي

وبتعويض قيمة J في معادلة T وقيمة r نحصل على المعادلة التالية:

$$T = \frac{\pi}{16} d_o^3 (1 - k^4) \quad (11)$$

حيث:

$K \equiv$ النسبة بين القطر الداخلي والخارجي

$$k = \frac{d_i}{d_o} \quad (12)$$

يمكن حساب العزم من العلاقة التالية بدلالة القدرة:

$$T = \frac{P \times 60}{\pi d N} \quad (13)$$

■ الأعمدة المعرضة لعزم الحني فقط:

عند تعرض الأعمدة لعزم حني فقط يمكن حساب أقصى جهد سواء كان سحب أو ضغط

من معادلة الحني:

$$\frac{M}{I} = \frac{\tau}{r} \quad (14)$$

حيث:

$M \equiv$ عزم الحني

$I \equiv$ عزم القصور الذاتي لمساحة المقطع العرضي حول محور الدوران

في حالة الأعمدة المصمتة المدورة القيمة I هي:

$$I = \frac{\pi}{64} d^4 \quad (15)$$

وبتعويض قيمة I في المعادلة السابقة بالنسبة للأعمدة المصمتة تصبح:

$$M = \frac{\pi}{32} \tau d^3 \quad (16)$$

وبالنسبة للأعمدة المجوفة المدورة فإن | توجد من المعادلة التالية:

$$I = \frac{\pi(d_o - d_i)^4}{64} \quad (17)$$

وبتعويض قيمة k من المعادلة تصبح المعادلة كالتالي:

$$M = \frac{\pi}{32} \sigma_b d_o^4 (1 - k^4) \quad (18)$$

■ أعمدة معرضة لعزم الحني واللي معا:

عندما تتعرض الأعمدة لعزم اللي والحني في نفس الوقت فإنها تصمم على أساس الحملين بالتوازي. وهناك نظريات عديدة لإنهيار المواد المرنة عند تعرضها لجهود عديدة. وفيما يلي أهم نظريتين في هذا الموضوع:

- ❖ نظرية أقصى جهد قص (نظرية كوست) وتطبق هذه النظرية للمواد المرنة كالحديد المطاوع.
- ❖ نظرية أقصى جهد محوري (نظرية لاتكيس) وتطبق على المعادن الهشة كالحديد الزهر.
- ❖ بتطبيق نظرية أقصى جهد متولد:

$$\begin{aligned} \tau_{max} &= \frac{1}{2} \sqrt{\sigma_b^2 + 4\tau^2} = \frac{1}{2} \sqrt{\left(\frac{32M}{\pi d^3}\right)^2 + 4\left(\frac{16T}{\pi d^3}\right)^2} \\ &= \frac{16}{\pi d^3} \left[\sqrt{M^2 + T^2} \right] \quad (19) \end{aligned}$$

الحد $\left[\sqrt{M^2 + T^2} \right]$ يعرف بأنه مكافئ عزم اللي (Equivalent Twisting Moment) ويرمز له بالرمز T_e وهذا المكافئ يمكن تعريفه بأنه عزم اللي الذي إذا سلط لوحده يولد نفس جهد القص σ_b كما لو كان عزم اللي حقيقيا. وبتحديد جهد القص τ_{max} بشكل مساو لجهد القص المسموح به σ_b للمادة فإن المعادلة أعلاه يمكن كتابتها:

$$T_e = \left[\sqrt{M^2 + T^2} \right] \quad (20)$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 T_e}{\pi \sigma_b}} \quad (21)$$

ومن نظرية الجهد الأقصى العمودي:

$$\tau_{max} = \frac{1}{2} \sigma_b \sqrt{\left(\frac{1}{2}\sigma_b\right)^2 + \tau^2} = \frac{32}{\pi d^3} \left(\frac{1}{2} [M^2 + T^2]\right) \text{-----} (22)$$

إن التعبير $0.5[M + (M + T)^{0.5}]$ يسمى عزم الحني المفاجئ ويعبر عنه بالرمز M_e ويمكن تعريفه بأنه العزم الذي لو أثر وحده ينتج عنه نفس جهد الشد أو الضغط τ كعزم حقيقي .
وبتحديد أقصى جهد للعمود τ_{max} مساو لعزم الحني المسموح به τ ويمكن كتابة المعادلة السابقة بالصورة التالية :

$$M_e = \frac{1}{2} \left[M + \sqrt{(m^2 + T^2)} \right] = \frac{\pi}{32} \sqrt[3]{\sigma d^3 (1 - k^4)} \text{-----} (23)$$

ومن هذه المعادلة يمكن إيجاد قيمة القطر للعمود:

$$d = \frac{32M_e}{\pi \sigma_b} \text{-----} (24)$$

وفي حالة الأعمدة المجوفة تصبح المعادلة كالتالي:

$$T_e = [M^2 + T^2] = \frac{\pi}{32} \sigma d_o^3 (1 - k^4) \text{-----} (25)$$

$$M_e = \frac{1}{2} \left[M + \sqrt{(m^2 + T^2)} \right] = \frac{\pi}{32} \sigma d_o^3 (1 - k^4) \text{-----} (26)$$

وينصح عادة أن يحسب قطر العمود باستعمال كلا النظريتين واستخدام الرقم الأكبر من القيمتين بالنسبة للقطر فيؤخذ هذا بعين الاعتبار عند التصميم.

2-5-2 المحامل:

تستخدم المحامل (كراسي التحميل) في حمل وسند مرتكزات الاعمدة ومحاور الدوران اللذان يحملان أجزاء الآلة الدوارة المختلفة مثل بكرات (طارات) السيور والحدافات وغيرها... إلخ. تختلف تصميمات المحامل وفقاً لأغراض استخدام كل منها وظروف تشغيلها كدوران أجزاء الآلة بسرعات منخفضة أو بسرعات مرتفعة أو لإستخدامها بالآلات التي تتميز بدرجة عالية من الدقة أو ذات درجة منخفضة. يمكن تقسيم المحامل وفقاً لقوى الإحتكاك الناشئة عن حركة الدوران إلى مجموعتين أساسيتين هما:

أ/ المحامل البسيطة وهي التي تعرف ب(محامل الإنزلاق)

هي المحامل التي ينزلق فيها المحمل لطبقة من الزيت على الجلبة.

❖ المحامل الهيدروديناميكية

يرجع وجود طبقة الزيت إلى القوة الهيدروديناميكية التي تنشأ عن حركة العمود.

❖ المحامل الهيدروستاتيكية

يضخ الزيت بين العمود والجلبة بواسطة مضخة خارجية

ب/ المحامل التدرجية (المحامل المقاومة للإحتكاك)

وهي المحامل التي يتدرج فيها العمود على أجسام أسطوانية أو كروية وتصل الحركة عن طريق الجسيمات الأسطوانية أو الكروية أي عن طريق الإحتكاك التدرجي.

❖ المحامل الكروية:

فيها يتدرج العمود على جسيمات كروية. ومن أنواعها ما يلي:

1- الكروية ذات المجرى العميق:

سميت بذات المجرى العميق لأن الكريات تجري في مجاري عميقة لتسهيل عملية تجميع المحمل عند صناعته. وهي الأكثر استخداماً لما تمتاز به من خصائص منها:

- تتحمل التحميل القطري (Radial load) ومركبة محدودة في الإتجاه المحوري في الإتجاهين.
- تأخذ قدر محدود من عدم إستقامة العمود (ميلان محور العمود عن محور المحمل)
- تصلح للإستخدام في السرعات العالية.

2- الكروية ذات التلامس الزاوي:

سميت بذات التلامس الزاوي لأن نقاط تلامس الكرة مع الصحن تميل بزاوية على محور المحمل وتمتاز بأنها تأخذ حمل قطري إضافة إلى مركبة معتبرة في الإتجاه المحوري ولكن في إتجاه واحد.

3- الكروية ذات التعويض الذاتي:

لها القدرة على التعويض الذاتي بمقدار كبير عن عدم إستقامة العمود وذلك لأن السطح الداخلي للصحن الخارجي شكله كروي.

4- محامل الضغط الكروية:

تأخذ حمل صرف لمحور العمود حيث نجد أن الصحن الأعلى ملتصق بالعمود ويدور معه الصحن الأسفل ملتصق بالهاوزن وثابت به وبين الصحن الأسفل والعمود يوجد خلوص.

خلفية نظرية عن تصميم المحامل:

عند تصميم أي محمل لعمود معين لا بد من معرفة القوى المسلطة على العمود لحساب ردود الأفعال الناتجة عنها ومن ثم إيجاد قطر العمود الذي يتحمل هذه القوى وأي عمود دوران يتعرض إلى قوى أفقية (مماسية) وقوى عمودية وهذه تنتج عنها ردود أفعال.

خطوات تصميم المحامل:

يكون التصميم كالتالي [7]:

أولاً: نحسب ردود الأفعال المسلطة على العمود

ثانياً: نختار أكبر رد فعل

ثالثاً: نوجد عمر المحمل L .

من الجدول الموصى به لاختيار المحمل (recommended bearing life) نجد عمر المحمل الافتراضي للمحمل (for industrial machines) هو 30.000 ساعة .

إذن عدد اللفات (revolution) التي يقوم بها العمود في 30.000 ساعة يحسب من كالاتي :

$$L_d = 30.000 \times 60 / N \text{ (27)}$$

$L_d \equiv$ عدد اللفات التي يقوم بها العمود في 30.000 ساعة

$\equiv 60$ للتحويل من ساعات إلى دقائق

وباستخدام معادلة إيجاد عمر المحمل والحمل (life and load relation):

$$L_{10} C^K = L_d P_d^k \text{—————} (28)$$

حيث:

$P_d \equiv$ رد الفعل عند المحمل

$L_{10} \equiv$ معدل اللفات للحمل الأساسي

$k \equiv$ معامل يعتمد على نوع المحمل

rev & k for single groove ball bearing = 31000,000 $L_{10} =$

ومن ثم نحسب معدل الحمل الديناميكي الأساسي (basic dynamic load rating) من العلاقة التالية:

$$C = P_d \left[\frac{L_d}{L_{10}} \right]^{\frac{1}{K}} \text{—————} (29)$$

رابعاً: يتم اختيار المحمل من الجداول :

هناك جداول يمكن اختيار المحامل منها حسب نوع المحمل أما محامل كروية ذات

مجرى عميق أو محامل ذات مجرى ثنائي الصفوف (Deep Groove double row)

وهذه المحامل لها عيوب ومحاسن . من عيوبها التكلفة الأولية العالية نسبياً كذلك مقاومتها للصدمات ضعيفة وتصعب كذلك من عملية تصميم العمود .

أما محاسنها تتمثل في أنها تحافظ على وضع العمود لفترة طويلة ومناسبة للسرعات المنخفضة وعملية الاستبدال للمحمل بعد تلفه تكون سهلة وعند تصميم المحامل أو اختيارها لا بد من الوقوف على بعض الاعتبارات ووضعها في الحسبان منها المساحة المتاحة للمحمل والحمل الذي يتعرض إليه مقداراً وإتجاهاً كذلك السرعة والجساءة.

3-5-2 الخوايير keys:

هي عبارة عن قطع حديدية تثبت (تغرز) بين العمود ومحور العضو المراد تثبيته (وصلة

بين عمودين حيث أنها تمنع الحركة النسبية بين العمود والقطعة المراد تثبيتها.

ودائماً ما تثبت موازية لمحور العمود]

أنواع الخوايير:

1. الخاير الغاطس sunk key

2. الخاير السرجي saddle key

3. الخابور المماسي tangent key

4. الخابور الدائري round key

5. الشريحة splines

• تصميم الخوابير:

يمكن تصميم الخوابير بخطوات بسيطة هي [7]:

1-حساب العزم المسلط على العمود ويمكن حسابه من المعادلة

2-حساب طول اختيار عرض وسمك الخابور من الجدول

3-الخابور بدلالة إجهاد القص كما في المعادلة:

$$L = \frac{2T}{W\tau d} \text{ (30)}$$

حيث:

$L \equiv$ طول الخابور

$W \equiv$ عرض الخابور

$\tau \equiv$ إجهاد القص على الخابور

1- نحسب طول الخابور بدلالة إجهاد السحق كما في المعادلة:

$$L = \frac{4T}{t\sigma_c d} \text{ (31)}$$

حيث:

$t \equiv$ سمك الخابور

$\sigma_c \equiv$ إجهاد السحق على الخابور

2- من نتائج المعادلتين نختار الطول الأكبر

2-6 المواد المستخدمة في صناعة أجزاء صندوق التروس:

2-6-1 التروس:

المواد المستخدمة في صناعة التروس تعتمد على القدرة وظروف التشغيل مثل التآكل والضجيج... الخ. التروس يمكن أن تصنع من المواد المعدنية والمواد غير المعدنية. التروس المعدنية تصنع من الحديد الزهر، الفولاذ والبرونز. التروس غير المعدنية مثل الخشب، الجلود

الخام، الورق المضغوط والراتنجات الصناعية مثل النايلون تستخدم كذلك في صناعة التروس وذلك لتقليل الضجيج. الحديد الزهر يستخدم في صناعة التروس على نطاق واسع وذلك لخصائص التآكل الجيدة، إمكانية التشغيل الممتازة وسهولة إنتاج الأشكال المعقدة بطريقة الصب. الفولاذ يستخدم لإنتاج التروس عالية القوة ويمكن أن يستخدم الفولاذ منخفض الكربون plain carbon steel أو سبيكة الفولاذ alloy steel. تروس الفولاذ تخضع لمعالجة حرارية عادة لتجمع بين صلادة الأسنان ومتانتها [1].

2-6-2 الأعمدة والمحاور:

تصنع أعمدة ومحاور ماكينات الإنتاج وآلات الاحتراق الداخلي والآلات ذات القدرات الكبيرة من مواد تتميز بمواصفات متانة عالية بدرجة كافية بحيث تقبل المعاملات الحرارية بهدف زيادة مقاومة التآكل الناتج عن الاحتكاك بالإضافة إلى قابلية هذه المواد للتشكيل.

يستخدم الصلب الكربوني في صنع الأعمدة والمحاور حيث يتميز بقابليته الجيدة للتشغيل بالإضافة إلى إجراء المعاملات الحرارية اللازمة له لإعطائه خواص ميكانيكية وصلادة عالية، كما يستعمل الصلب السبائكي في صنع الأعمدة والمحاور ذات التحميل العالي والذي يجرى معاملته بمختلف أنواع المعاملات الحرارية كما تصنع الأعمدة المرفقية من صلب المطروقات أو المسبوكات وكذلك من حديد الزهر العالي المتانة. تتميز هذه المواد بالمتانة الكافية والمقدرة العالية على إخماد الإهتزازات.

2-7 خلفية عامة عن المخارط:

تعتبر المخارط من أقدم الماكينات التي اخترعها الإنسان حيث يرجع تاريخ صنعها إلى ما قبل 1300 ق. تطورت المخرطة على مر العصور باختراع المحرك البخاري ثم المحرك الكهربائي وكان التطور الكبير نتيجة لخبرة المهندسين والفنيين والباحثين وذلك بإجراء تعديلات وتحسينات عليها حتى وصلت إلى شكلها الحالي [1].

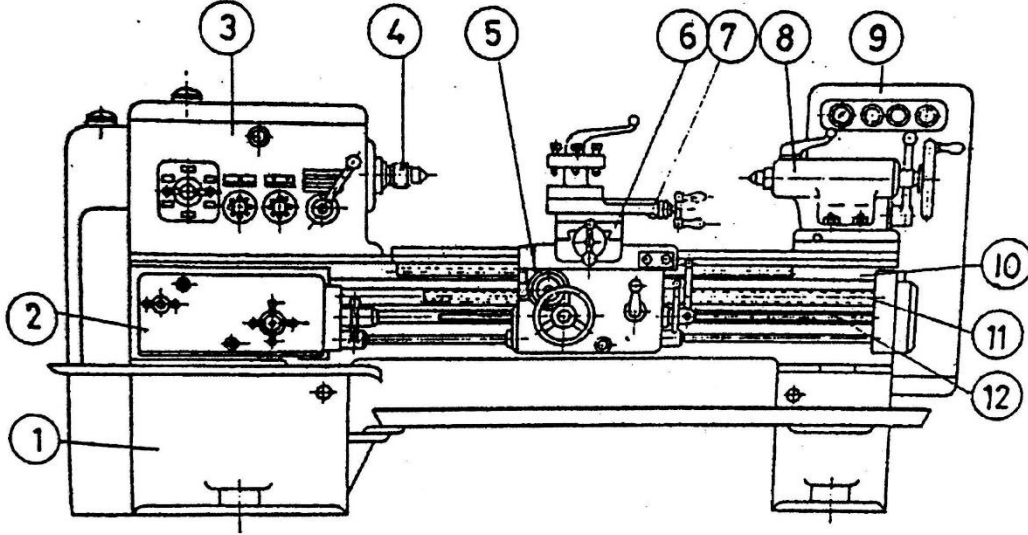
2-7-1 أنواع المخارط:

- 1- المخرطة المتوازية
- 2- مخرطة الجبهة
- 3- المخرطة العمودية
- 4- المخرطة البرجية

5- المخرطة الآلية

6- المخرطة المحوسبة (CNC LATHE)

2-7-2 الأجزاء الأساسية للمخرطة:



الشكل (2-13) يوضح الأجزاء الأساسية للمخرطة

- | | |
|----------------------------------|------------------------------------|
| 1. القاعدة. | 2. صندوق تروس التغذية. |
| 3. الرأس الثابت (الغراب الثابت). | 4. عمود الدوران. |
| 5. العربة. | 6. الراسمة العرضية. |
| 7. الراسمة الطولية. | 8. الرأس المتحرك (الغراب المتحرك). |
| 9. دولاب المعدات الكهربائية. | 10. الفرش. |
| 11. عمود القلووز (المرشد). | 12. عمود التغذية (الجر). |

8-2 الدراسات السابقة:

1-8-2 استخدام التصميم بمساعدة الحاسوب في تصميم صندوق تروس لرافعة علوية:

هدفت الدراسة إلى وضع التصور الأولي لصندوق التروس لرافعة باستخدام برنامج (SOLIDWORKS)، وإجراء حسابات التروس باستخدام برنامج (EXCEL)، ونمذجة التصميم باستخدام برنامج (SOLIDWORKS). وخلصت إلى أن التصميم الهندسي يتطلب مجهود كبير وحسابات معقدة، وأن استخدام الحاسوب مفيد لتسهيل عملية التصميم الهندسي في كل مراحل التصميم بدءاً من تكوين الفكرة الأساسية وحتى تفاصيل التصميم وتحليل التصميم والنمذجة [4].

الدراسة مشابهة لدراستنا من منظور كلي حيث أن هدفها الأساسي الاستفادة من الحاسوب في تسهيل عملية التصميم الهندسي فهي مشابهة لها في الجانب النظري ولكن اختلفت الدراسات في التطبيق حيث تناولت تلك الدراسة تصميم رافعة قنطرية أما دراستنا فكانت على ماكينة خراطة على العموم أعطتنا هذه الدراسة خلفية جيدة عن كيفية الاستفادة من الحاسوب في زيادة دقة التصميم الهندسي.

2-8-2 تصميم وتحليل ومحاكاة صندوق تروس ذو 12 رتبة لماكينة خراطة:

هدف هذا البحث هو تصميم وتحليل ومحاكاة صندوق تروس ذي 12 رتبة لماكينة قطع. وتوصل للنتائج التالية:

- 1- تصميم الأجزاء الأساسية لصندوق التروس وهي التروس والأعمدة والمحامل والخوابير.
- 2- تحليل السرعات الخطية والدورانية والنسب بينها وتحليل الأحمال باستخدام برنامج (LIBREOFFICE CALC 2015).

- 3- محاكاة صندوق التروس باستخدام برنامج (SOLIDWORKS 2014).

تمت الاستفادة من هذا البحث في وضعية الصندوق ومعرفة السرعات الداخلة في كل عمود والوضعية المثالية لكل منهما وتمت الاستفادة كذلك من المخطط الهيكلي لنقل السرعات [5].

قد يبدو البحثان متشابهان إلى درجة التطابق إلا أن هناك إضافة مهمة في بحثنا وهي البرنامج الذي تم تطويره باستخدام لغة MATLAB الذي يقوم بإجراء الحسابات التصميمية للتروس ويمكن التعديل على المدخلات بحيث يتم الاستفادة منه في تصميم صندوق تروس أي مخرطة.