



تصميم صندوق سرعات أوتوماتيكي لمخرطة تقليدية

الخير مبروك البرناوي^{1*}، أبو بكر محمد أبو بكر²، سراج عبد اللطيف الريفى³، حمزة عربي احمد⁴، علي عثمان الغول⁵
قسم الهندسة الميكانيكية، كلية التقنية الهندسية، هون، ليبيا^{1,2,3,4,5}

Design of a Stepless Automatic Gearbox for a Traditional Lathe Machine

Alkhair Mabrouk Albarnawie^{1*}, Abubakar Mohamed Abubakar², Serag Abdullatif Alreefi³,
Hamza Araby Ahmed⁴, Ali Omar Algoul⁵

^{1,2,3,4,5} Department of Mechanical Engineering, College of Engineering Technology,
Houn, Libya

*Corresponding author: alkhair_brno@yahoo.com

تاريخ النشر: 2025-02-05

تاريخ القبول: 2025-01-28

تاريخ الاستلام: 2024-11-18

المخلص

صناديق السرعات تُعد أحد أهم التطبيقات الصناعية لنظام نقل الحركة في آلات التشغيل الميكانيكي. ويتم استخدام صناديق سرعات مختلفة للسرعات في العديد من الآلات منها: آلات الخراطة، آلات الثقب، آلات التفريز وغيرها من آلات التشغيل الميكانيكية الأخرى التي تتطلب عزوم أو سرعات متباينة توافق متطلبات عملية التشغيل قيد التنفيذ. هذه الورقة تستعرض خطوة بخطوة وبشكل منهجي الجوانب الفنية لتصميم صندوق سرعات أوتوماتيكي لمخرطة تقليدية وذلك انطلاقاً من مقترح المهمة ثم مروراً بكل من: مهمة التصنيع، الحسابات الفنية للقدرة وقوى القطع، الخطوات المرحلية لعمليات التصميم، تعيين حدود التصميم، الحسابات الفنية المتعلقة بتصميم صندوق التروس، التجميع وختاماً الخلاصة ونتائج البحث. وهي تركز بشكل أساسي على تقديم نموذج تعليمي لطلبة هندسة التصميم، لا لجعلهم قادرين على وضع التصميم الميكانيكية وحل المشاكل التقنية فحسب بل ليكونوا قادرين على تطبيقها وتنفيذها فعلياً على أرض الواقع أيضاً.

الكلمات المفتاحية: آلة خراطة، صندوق سرعات، تروس، أعمدة إدارة، قوابض كهرومغناطيسية، عمود التدوير الرئيسي.

Abstract

In order to meet the requirements of any machining process performed on a lathe machine, milling machine, drilling machine, grinding machine; a frequent change in speed or torque is required. Multi-speed multi-stage gearbox is a common device in machine tools design used to change the speed of rotating power source according to the conditions of torque at the output. This paper aims to present the design of a stepless automatic gearbox for a traditional lathe machine using DC-motor, spur gears and electric coupling. It includes step by step guide to the design and selection of each component of the gearbox, such as: gears, shafts, couplings and bearings, as well as lubricants ... etc. Furthermore, it includes all the calculations necessary for all individual elements and parameters involved in the designing of the gearbox, so as to make the device highly efficient and economically feasible.

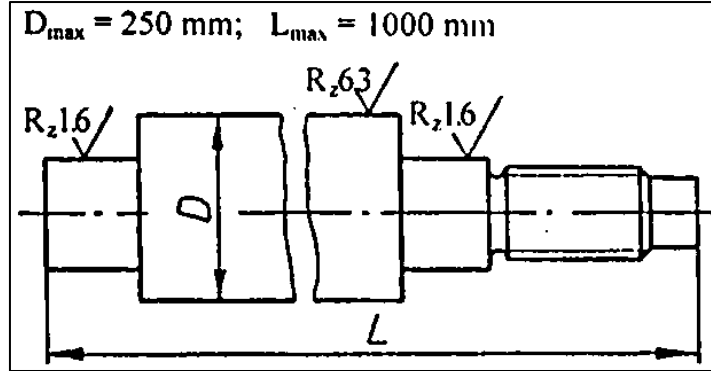
Keywords: lathe machine; gearbox; spur gears; drive shafts; electric coupling, spindle.

1. المقدمة

صندوق السرعات (صندوق التروس، علب السرعة، علب المسننات أو إدارة نقل الحركة) هو عبارة عن جهاز ميكانيكي غالبا- يقوم بنقل الحركة وتغيير السرعة المميزة لمصدر القدرة لتوافق العزم المطلوب. وهو يحتوي غالبا على مجموعة من التروس ذات الأحجام والتصاميم المختلفة التي يمكن، يدويا أو أوتوماتيكيا، تعشيقها ببعضها لتغيير السرعة الدورانية لمصدر القدرة (محرك كهربائي) وذلك من أجل الحصول على السرعة والعزم المناسبين عند مخرج صندوق السرعات (عمود التدوير الرئيسي).

2. الغرض من البحث

الهدف الأساسي للورقة يتمثل في استعراض الخطوات التكنولوجية والمراحل التصميمية لأجل تصميم صندوق سرعات أوتوماتيكي لمخرطة تقليدية لإنتاج قطعة الشغل الأسطوانية الموضحة في المقترح الاستعراضي للمهمة، (الشكل 1).



الشكل (1): القطعة المطلوب إنتاجها من الفولاذ: (St70 ...St44).

3. المنهجية، المسار التكنولوجي والمواد [1]

إن إنتاج قطعة معدنية أو تشكيلها من الأجزاء المعدنية في مجال الصناعات المعدنية، يخضع مبدئيا للمتطلبات الآتية:

- 1- المتطلبات الفنية التي يتوجب توفرها في المشغولة
 - 2- المتطلبات الاقتصادية/ التنظيمية المفروضة على التصنيع
- المتطلبات الفنية تشمل كافة البيانات المتعلقة بالقطعة المسجلة على الرسم الهندسي الممثل لها، وهي:
- 1- الشكل الأساسي للقطعة.
 - 2- مادة التصنيع الأساسية للقطعة.
 - 3- المقاسات، العناصر الشكلية وجودة السطح على القطعة.
- أما المتطلبات الاقتصادية/ التنظيمية فتشمل كل من:
- 1- عدد القطع المطلوب في السنة.
 - 2- عدد القطع المطلوب في السنة.
 - 3- عدد القطع للدفعة.
 - 4- التكاليف الإنتاجية المسموح بها للقطعة.
 - 5- التكاليف الإنتاجية المسموح بها للقطعة.
 - 6- التجهيزات والمعدات التكنولوجية المطلوبة.
- وللمتطلبات الاقتصادية والتنظيمية عموما القول الفصل في مسألة اتخاذ القرار المتعلق باختيار الحل المناسب للتصنيع.

1.3. اختيار الحل المناسب للتصنيع والإنتاج

الكم الهائل من البيانات المتعلقة بمهمة معينة من مهام التصنيع المختلفة يمكن عموما حصرها واختصارها في اثنتين من المتغيرات البارامترية المهمة، هما:

- عدد الأجزاء المحددة لكل دفعة.

- درجة التعقيد في شكل الأجزاء المطلوبة.

وللمشغولة في هذا العمل شكل أساسي أسطواني بالمواصفات الفنية والتكنولوجية الآتية:

$$D_{max} = 250 \text{ mm}$$

$$D_{min} = 50 \text{ mm}$$

$$L_{max} = 1000 \text{ mm}$$

$$R_z = 6.3 \text{ } \mu\text{m} \text{ و } R_z = 1.6 \text{ } \mu\text{m}$$

سن اللولب.

الإنتاج المتسلسل المحدود، الإنتاج بالمفرد.

• القطر الأقصى:

• القطر الأدنى:

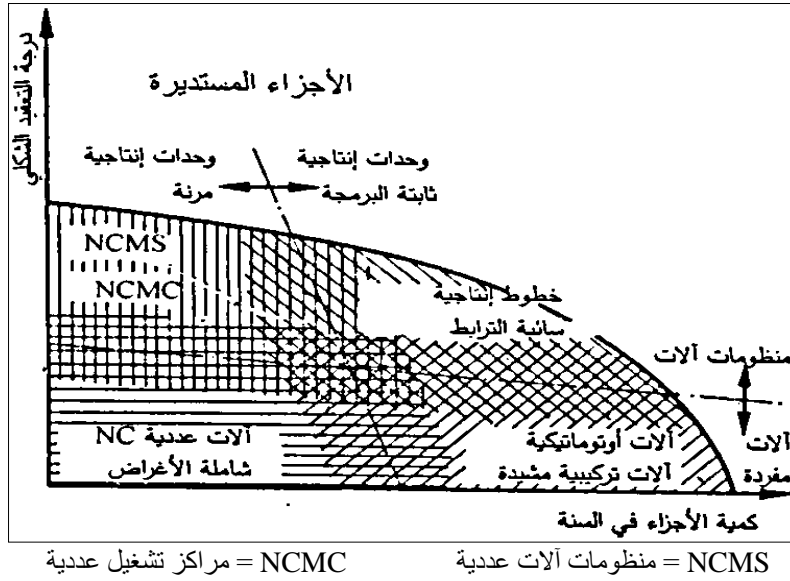
• الطول الأقصى:

• خشونة السطح:

• العناصر الشكلية الأخرى على المشغولة:

• نمط الإنتاج:

وبناءً على وجهات النظر الاقتصادية التي يفرضها جانب التصنيع نلاحظ، كما هو موضح في الشكل (2)، أن تكلفة إنتاج القطعة ترتفع مع ازدياد درجة التعقيد في شكلها.



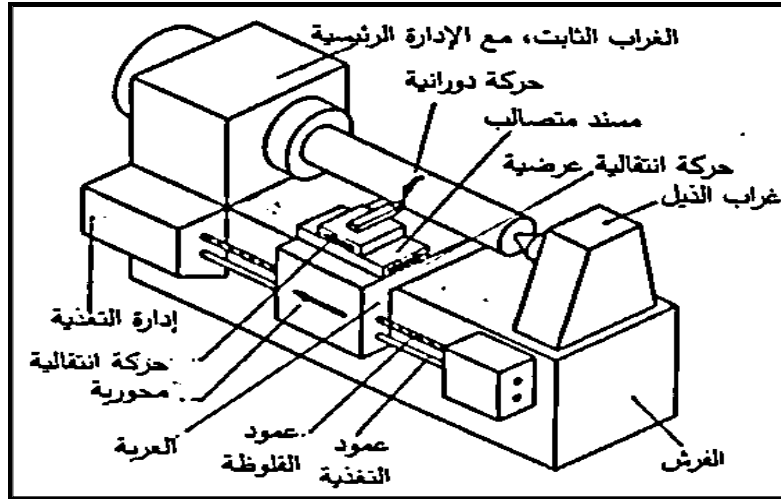
الشكل (2): وسائل التصنيع لإنتاج الأجزاء المستديرة بناءً على درجة التعقيد الشكلي للأجزاء الفنية والكمية المطلوب إنتاجها منها [2].

2.3. تحديد طريقة التصنيع:

لأجل إنتاج القطعة تم، من خلال استعراض كل من المتطلبات الفنية، الاقتصادية والتنظيمية ذات العلاقة بقطعة الشغل تحديد طرق التصنيع المطلوبة التالية: الخراطة (الخراطة الطولية)، قطع اللولب (القلوطة)، الخراطة الدقيقة أو التجليخ.

1.2.3. اختيار الآلة:

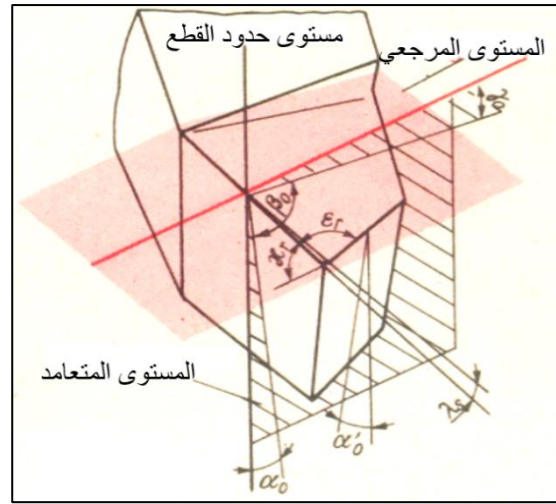
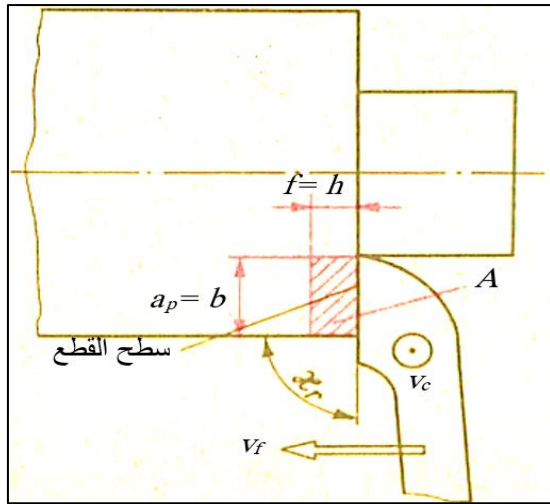
تم اختيار المخرطة العامة (المجهزة بعمود التغذية وعمود القلوطة) لإنجاز مهمة التصنيع، الشكل (3).



الشكل (3): المخطط المبني للمخرطة (شاملة الاغراض- للخراطة الطولية).

2.2.3. عدد وأدوات التشغيل:

إن اختيار طاقم العدد المناسب من حيث: التصميم الهندسي، المادة القاطعة، والمتغيرات التكنولوجية المثالية يلعب دوراً مهماً في تحقيق الدقة المطلوبة، الشكل (4).



الشكل (4): التصميم الهندسي لأداة القطع (قلم الخراطة) [3] الشكل (5): العلاقة بين المتغيرات التكنولوجية الأساسية للتشغيل [3]

3.3 المتغيرات التكنولوجية لعملية التشغيل الميكانيكي بالقطع [4]

الشكل (5) يعكس هندسيا العلاقات التي تجمع بين المتغيرات البارامتريّة الأساسية لعملية التشغيل الميكانيكي عند الخراطة. ولإجراء عملية الخراطة يستوجب الأمر معرفة وتقدير المتغيرات التكنولوجية الآتية:

1- الأزمنة القياسية T للعدد بالنسبة للعدد القابلة لإعادة السن بالتجليخ

طرق الخراطة	الزمن القياسي الاقتصادي T بالدقائق
الخراطة على المخارط العددية NC	20 ... 15
الخراطة على المخارط التقليدية	60
الخراطة على المخارط البرجية	240
الخراطة على المخارط الأوتوماتيكية	480

2- عمق القطع \$a_p\$:

\$a_p = 2 \dots 5\$ mm	المادة الفاطعة نوع: P10
\$a_p = 0.4 \dots 3\$ mm	المادة الفاطعة نوع: P01

3- التغذية \$f\$

\$f_{max} = 1.6\$ mm/rev	\$f_{min} = 0.25\$ mm/rev
--------------------------	---------------------------

4- القيم الإرشادية لزوايا العُدّة الرئيسية:

مواد التصنيع	زاوية الخلوص \$\alpha_0\$	زاوية الجرف \$\gamma_0\$	زاوية حد القطع \$\kappa_r\$
St44; St50; St60; St70	\$12^\circ \dots 5^\circ\$	\$12^\circ \dots 10^\circ\$	\$90^\circ\$

5- نسبة التشغيل الاقتصادية \$G\$: \$G = \frac{a_p}{2}\$

\$f_{max} = 2.5\$ mm/rev	\$f_{min} = 0.5\$ mm/rev	10 ... 2	التخشين
\$f_{max} = 0.5\$ mm/rev	\$f_{min} = 0.25\$ mm/rev	20 ... 10	التنعيم

4.3 الحسابات الفنية للقدرة وقوى القطع [4]

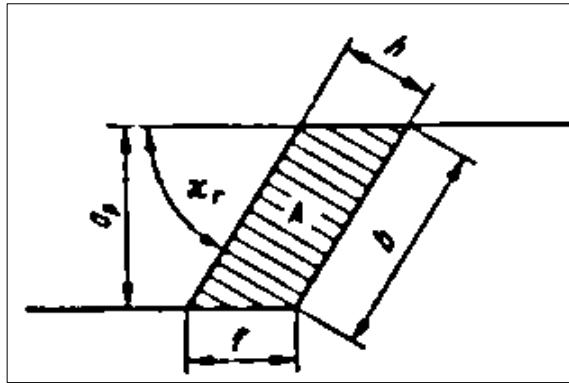
من خلال العمليات الرياضية وعمليات تحديد الامثلية تم الحصول على القدرة وقوى القطع التي لها القول الفصل في تحديد الأبعاد والمقاسات وكذلك اختيار المكونات والعناصر اللازمة لإتمام عمليات التصميم.

1.4.3 تقدير قوة القطع:

• المعادلة الأساسية لتقدير قوة القطع \$F_c\$:

$$F_c = bhk_c \cdot K_v \cdot K_{\gamma_0} \cdot K_{tcm} \cdot K_{mw} \quad [N] \quad ..(1)$$

حيث: k_c [N/mm²] قوة القطع النوعية، κ_r [°] زاوية حد القطع للعدة، h [mm] سمك التشغيل النظري، b [mm] عرض التشغيل النظري.



الشكل (6): المتغيرات المحددة لمساحة مقطع التشغيل النظرية.

• المعاملات التصحيحية يجري تحديدها كالتالي:

المعامل التصحيحي لزاوية الجرف γ_o : K_{γ_o}			
30°	6°	-20°	γ_o
0.75	1.0	1.4	K_{γ_o}

المعامل التصحيحي لسرعة القطع K_v			
400	100	20	v_c m.min ⁻¹
0.9	1.0	1.25	K_{v_c}

المعامل التصحيحي للمادة القاطعة: $K_{tcm} = 0.95 \dots 0.9$

المعامل التصحيحي للتآكل الميكانيكي: $K_{mw} = 1.5 \dots 1.3$

2.4.3. الحسابات الفنية للقدرة:

درجة كفاءة الآلة η	قدرة الإدارة P_a الخارجة، المتاحة من المحرك	قدرة القطع P_c
$\eta = 0.70 \dots 0.85$	$P_a = \frac{P_c}{\eta}$ [kW]	$P_c = \frac{F_c v_c}{1000.60}$ [kW]

3.4.3. عدد اللفات n وسرعة القطع v_c :

عدد اللفات وسرعات القطع التي تم تقديرها عند خراطة التخشين التمهيدية وعند خراطة التنعيم الدقيقة هي:

$v_{cmax} = 250 \frac{m}{min}$	$v_{cmin} = 200 \frac{m}{min}$	العملية	$n_{max} = \frac{v_c \times 1000}{\pi \times D_{min}}$	$n_{min} = \frac{v_c \times 1000}{\pi \times D_{max}}$	العملية
$n_{max} = 1592 \text{ rpm}$	$n_{min} = 255 \text{ rpm}$	خراطة التنعيم الدقيقة	$v_{cmax} = 140 \frac{m}{min}$	$v_{cmin} = 37 \frac{m}{min}$	التخشين
$\gamma_o = 5^\circ; a_p = 0.05 \dots 0.3 \text{ mm};$ $f = 0.05 \dots 0.1 \text{ mm/rev}$			$n_{max} = 891 \text{ rpm}$	$n_{min} = 47 \text{ rpm}$	

الجدول (1): ملخص النتائج عن كل من: سرعات القطع، قوى القطع أعداد اللفات، قدرة القطع، قدرة الإدارة ونطاق الضبط.

steel	v_c	F_c	n_{min}	n_{max}	P_c	P_A	S_n
St44	84 140	15911	107	891	22	26	8
St50	70 112	17052	89	726	20	24	8
St60	73 108	18861	93	688	23	27	7
St70	37 74	20664	47	471	13	15	10

5.3. اختيار المحرك:

أصل مادة المشغولة يعود إلى أنواع مختلفة من الفولاذ، وهو ما يعني ضرورة وجود نطاق مناسب من السرعات لتشغيلها. ونطاق سرعة القطع المطلوب الذي تم تحديده لتشغيلها يتراوح بين 47 و 1592 لفة/دقيقة. اختيار المحرك المناسب لتحقيق ذلك يتم بشكل أساسي بناء على قدرة الإدارة التي جرى مسبقاً تحديدها رياضياً. وطبقاً لكتالوج VEM DC motors فقد تم اختيار المحرك نوع: MFC 160 L2- P = 24.5 kW; n = 3000 rpm; 270 V.

4. المسار التصميمي [2]

1.4. تحديد نطاق مهمة التصميم

مهمة هذا البحث تتمثل بشكل أساسي في تصميم صندوق السرعات الرئيسي وعمود الدوران الرئيسي لآلة التشغيل المطلوبة وذلك ضمن الحدود التي نصت عليها المتطلبات الفنية والمتطلبات الاقتصادية المحددة خلال مقترح المهمة. وانطلاقاً من المهمة الأساسية لصندوق السرعات الرئيسي يمكن التمييز بين صناديق السرعات المتدرجة العادية وصناديق السرعات الأوتوماتيكية. صناديق السرعات الأوتوماتيكية تسمح بإمكانية ضبط القيم التكنولوجية المثالية الملائمة وجعلها توافق مهمة التشغيل المحددة بشكل دقيق وفعال. وهذه الورقة تهدف لإيجاد الحل الملائم والمثالي لمهمة التصنيع ثم تطبيقه تصميمياً وذلك بعد دراسة وتحليل الصور والبدائل المختلفة للحل.

2.4. الخطوات المرحلية لعملية التصميم

1.2.4. تحديد نطاق ضبط عدد اللفات

تحديد النطاق المحدد لضبط عدد اللفات المطلوبة على عمود التدوير الرئيسي S_{nHsp} يتم بواسطة العلاقة التالية:

$$S_{nHsp} = \frac{n_{max}}{n_{min}} = \frac{D_{max}}{D_{min}} \times \frac{v_{max}}{v_{min}} = S_D \times S_v \quad ..(2)$$

2.2.4. مخطط عدد اللفات ومخطط صندوق التروس

لدراسة التركيب الأساسي لصناديق السرعات واستعراض الخصائص المختلفة لها توجب استخدام كل من: مخطط عدد اللفات، مخطط صندوق التروس، مخطط القدرة/ عدد اللفات ومخطط عزوم الدران/ عدد اللفات.

$$S_{nHsp} = \frac{n_{max}}{n_{min}} = \frac{1592}{47} = 33.87 \quad \text{- نطاق الضبط على عمود التدوير الرئيسي:}$$

من البيانات الفنية لمحرك التيار المستمر نوع: VEM DC MFC 160 L2 نستخلص الآتي:

- عدد اللفات الاسمي n_{nenn} يساوي 3000 لفة/ ق

- عدد اللفات الأدنى n_{min} يساوي 50 لفة/ ق

$$S_{nA} = \frac{n_{nenn,mot}}{n_{min,mot}} = \frac{3000}{50} \quad \text{- نطاق ضبط العضو الدوار :} S_{nA}$$

$$S_{nF} = \frac{n_{max,mot}}{n_{nenn,mot}} = \frac{4500}{3000} = 1.5 \quad \text{- نطاق ضبط المجال :} S_{nF}$$

بالنسبة للإدارة المتدرجة الملحقه ثنائية المراحل (g = 2):

$$\log S_{nred} = g_{Get} \times \log S_{nF} = 2 \times \log 1.5 = 0.3521825$$

$$g_{Get} = \frac{\log S_{nred}}{\log S_{nF}} = 2.0005$$

$$\log 33.87 - \log S_{nA} = 0.3521825 \log \frac{33.87}{S_{nA}} = 0.3521825 ; \quad \text{بالنسبة للمحرك:}$$

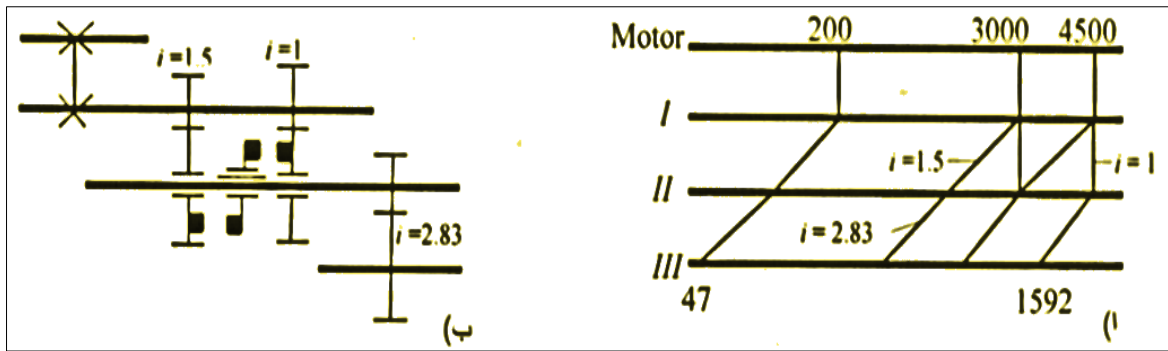
$$\log S_{nA} = \log 33.87 - 0.3521825 = 1.1776326 ; \quad \longrightarrow S_{nA} = 15.05$$

3.2.4. المقارنة بين الحلول التصميمية المقترحة:

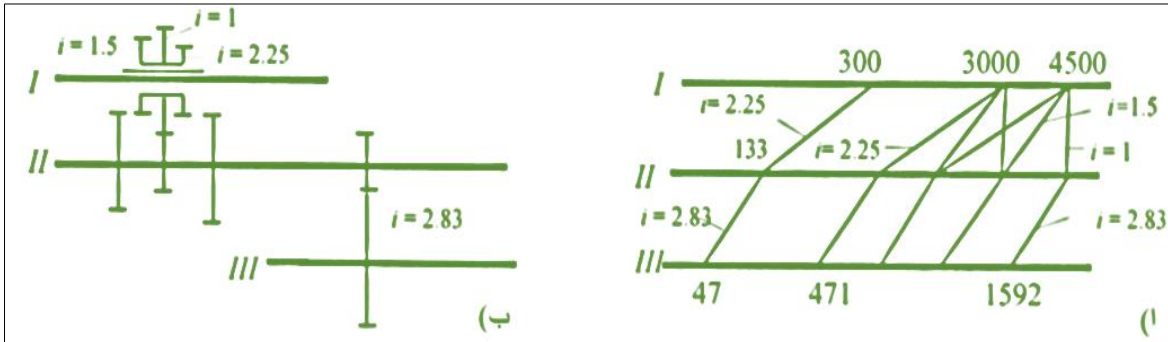
في هذا الورقة تم مبدئياً اقتراح ثلاثة صور من بدائل الحلول التي يمكنها أداء العمل المطلوب، ليجري بعدئذ القيام بالمفاضلة بينها واختيار الحل الأمثل منها. المقارنة بين بدائل الحلول الثلاثة المقترحة أسفرت عن اختيار الحل البديل الأول (صندوق سرعات قابل للتشويق تحت الحمل، مجهز بفايض كهرومغناطيسي)، حيث تم رسم مخطط عدد اللفات ومخطط صندوق التروس لهذا الحل المختار. الجدول (2) نتائج المقارنة بين بدائل الحلول المقترحة، الأشكال (7)، (8) و(9).

الجدول (2): المقارنة بين بدائل الحلول الثلاثة المقترحة.

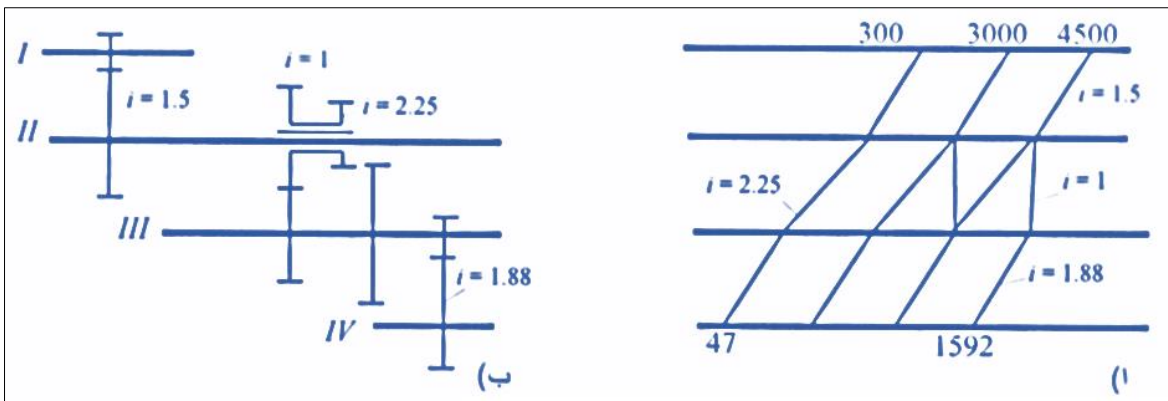
العيوب	المزايا	بدائل الحلول
درجة كفاءة متدنية، زياد في الأبعاد التصميمية محوريا بفعل أبعاد القابض، حمل حراري ملحوظ على عمود التدوير، اهتزازات حادة في عمود التدوير الرئيسي	إمكانية التعشيق تحت الحمل، مناسب لعمليات الاتمة، أزمنة تعشيق قصيرة نسبيا	الحل البديل 1
التعشيق في حالة الإيقاف أو السكون فقط، تتطلب قوى كبيرة لتعشيق التروس (مقننات كبيرة)، أزمنة تعشيق طويلة نسبيا، حمل حراري ملحوظ واهتزازات حادة على عمود التدوير الرئيسي	درجة كفاءة جيدة، تصميم بسيط، عدد محدود من العناصر، رخيص التكلفة	الحل البديل 2
التعشيق في حالة الإيقاف أو السكون فقط، أعمدة الإدارة البيئية (الوسيلة) تدور بشكل بطيء، عدد كبير نسبيا من العناصر والمكونات، تتطلب قوى كبيرة لتعشيق التروس (مقننات كبيرة)، حمل حراري واهتزازات حادة في عمود التدوير الرئيسي	- كما ورد في الحل البديل 2	الحل البديل 3



الشكل (7) الحل البديل الأول: (أ) مخطط عدد اللفات (مخطط السرعات)، (ب) مخطط صندوق السرعات (مخطط الإدارة).



الشكل (8): الحل البديل الثاني: (أ) مخطط عدد اللفات، (ب) مخطط صندوق السرعات.



الشكل (9): الحل البديل الثالث: (أ) مخطط عدد اللفات، (ب) مخطط صندوق السرعات.

4.2.4. الحسابات الفنية لتحديد القدرة التصميمية لصندوق السرعات الرئيسي

تحديد القدرة لصندوق السرعات الرئيسي انطلاقاً من عزم الدوران وعدد اللفات (الشكل 10) يتم بناء على العلاقة التالية:

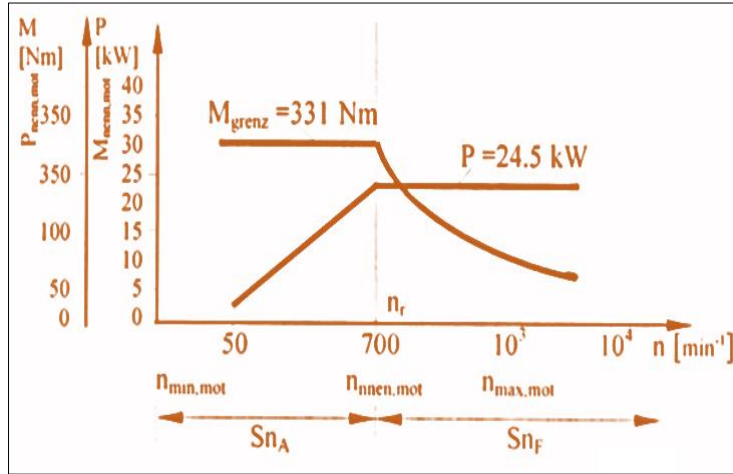
$$P = \frac{M \times n}{9550} \quad .. (3)$$

n	P	M
rpm	kW	Nm

الجدول (3): تعيين القدرة لصندوق السرعات الرئيسي.

M	P	n
331	24.5	707
331	17.33	500
331	3.47	100

P	M	n
24.5	234	1000
24.5	147	1592
24.5	52	4500



الشكل (10): تعيين القدرة المطلوبة للتصميم.

5.2.4. الحسابات الفنية المتعلقة بتصميم أعمدة الإدارة

المهمة الأساسية لأعمدة الإدارة تكمن في نقل عزم الدوران، أما المهمة الأخرى فتتمثل عموماً في حمل العناصر والأجزاء المختلفة الداخلة في تركيب صندوق السرعات، الأشكال (7); (8); و(9).

6.2.4. اختيار مادة التصنيع لأعمدة الإدارة

اختيار مادة التصنيع جرى تحت مراعاة جميع شروط التشغيل السائدة والأحمال المختلفة المؤثرة على الأعمدة. بخصوص أعمدة الإدارة يتم بشكل عام اختيار الأنواع المختلفة لفولاذ الإنشاءات العام St 52 (S 355) و St 50 (E295) للأحمال المتوسطة، St 60 (E335) و St 70 (E360) للأحمال العالية، المواصفة القياسية الألمانية DIN 743.

7.2.4. حساب عزوم اللي [2]; [5]; [6]

عزم اللي يقدر وفقاً للعلاقة التالية:

$$M_t = \frac{1000 \cdot P}{2\pi \frac{n}{60}} \approx 9550 \times \frac{P}{n} \quad ..(4)$$

M_t	P	n
Nm	kW	rpm

وبافتراض أن درجة الكفاءة η بين عمود وآخر في صندوق السرعات هي $\eta = 0.95$ فإن:

$$M_{tI/3000} = 9550 \frac{24.5}{3000} = 78 \text{ [Nm]}$$

عزم اللي لعمود الإدارة الأول I يكون:

$$M_{tII/2000} = 9550 \frac{24.5 \times 0.95}{2000} = 111.14 \text{ [Nm]}$$

$$M_{t III / 707} = 9550 \frac{24.5 \times 0.9}{707} = 502.30 \quad [\text{Nm}]$$

عزوم اللي للأعمدة الأخرى مدرجة في الجدول (4)

الجدول (4): عزوم اللي المؤثرة على أعمدة الإدارة.

P	M_t	n	العمود
24.5	78	3000	I
24.5	111.14	2000	II
24.5	502.30	707	III

8.2.4. تقدير الأقطار المبدئية للأعمدة

قطر عمود الإدارة يقدر رياضياً طبقاً للعلاقة التالية:

$$d_o = \sqrt[3]{\frac{16 \times M_t \times 10^2}{\pi \times \tau_{zul}}} = \sqrt[3]{425 \times M_t} \quad [mm] \quad .. (5)$$

- قطر عمود الإدارة: $d_I = \sqrt[3]{425 \times 78} = 32.12 \quad [mm]$

القطر المختار: $d_{I_{gew}} = 40$ ، إجهاد القص المسموح به. أقطار الأعمدة الأخرى في الجدول (5).

الجدول (5): أقطار أعمدة الإدارة.

d_{gew}	d	M_t	العمود
40	32.12	78	I
50	36.15	111.14	II
75	59.76	502.30	III

9.2.4. اختيار القابض الكهرومغناطيسي

القوابض تُعد من عناصر الآلات التي تتولى مهمة وصل الأعمدة ببعضها بالإضافة إلى نقل العزوم. في هذا البحث تم، بناءً على العزم المنقول، اختيار القابض الكهرومغناطيسي متعدد الأقران- القابل للتعشيق تحت الحمل- طراز: KLDO-DA 20-40 ... 50 TGL 9922/03

10.2.4. الحسابات الفنية لتصميم التروس

(طبقاً للمواصفات DIN 3990; ISO 6336 ومواصفات أخرى)

أولاً- تحديد عدد الأسنان جري بواسطة طريقة المتواليات الحسابية المعروفة التالية:

• مجموعة الإدارة الأولى، الترسين Z_1/ Z_2 :

$$z_1 = 39 \quad (\text{عدد الأسنان محدد لأسباب تقنية})$$

$$z_2 = z_1 \times i_1 = 39 \times 1.5 = 58.5$$

$$z_2 = 58$$

تحديد عدد أسنان الترس الثاني (اختياراً)

$$\Sigma z = z_1 + z_2 = 97$$

$$z_3 = \frac{\Sigma z_{1,2}}{1+i_2} = \frac{97}{1+1} = 48.5$$

الترسين Z_3/ Z_4 :

$$z_3 = 48 \quad (\text{اختياراً})$$

$$z_4 = \Sigma z_{1,2} - z_3 = 97 - 48 = 49$$

• مجموعة الإدارة الثانية، الترسين Z_5/ Z_6 :

$$z_5 = 39 \quad (\text{محدد لأسباب تقنية})$$

$$z_6 = z_5 \times i_3 = 39 \times 2.83 = 110.37$$

$$z_6 = 111 \quad (\text{اختياراً})$$

ثانياً- تقدير المقتنن (الموديول):
حساب القيمة التقريبية للمقتنن جري وفقاً للعلاقة التالية:

$$m_{\text{über}} \geq \sqrt{\frac{2 \times M_t \times q_K \times q_\varepsilon \times 10^3}{z_i \times \lambda_i \times \sigma_{b,zul}}} \quad [\text{mm}] \quad \dots (6)$$

حيث:

مادة التصنيع (DIN EN 10 084)	$\sigma_{b,zul}$ [MPa]	q_ε	q_K	λ [mm]
20MnCr5	220	0.61	2.9	10

تقدير قيمة المقتنن التقريبية في مجموعة الإدارة الأولى:

$$m_{\text{über}} \geq \sqrt{\frac{2 \times M_t \times q_K \times q_\varepsilon \times 10^3}{z_i \times \lambda_i \times \sigma_{b,zul}}} = m_{\text{über}1} \geq \sqrt{\frac{2 \times 78 \times 1.25 \times 2.9 \times 0.61 \times 10^3}{39 \times 10 \times 220}} = 2.00 \quad [\text{mm}]$$

قيمة المقتنن المختارة هي: $m_{gew1} = 2.5$

اختيار مقننات التروس [بالمم] جرى حسب المواصفة القياسية الألمانية DIN 780 (الأفضلية للمتواليات الأولى)، الجدول (6).

ثالثاً- تحديد مقاسات العرض والقطر للتروس:

حساب عرض الترس يجري- بناء على النسبة الهندسية λ - من العلاقة التالية:

$$\lambda = \frac{b_i}{m_i} \quad \dots (7)$$

$$b_1 = m_1 \times \lambda = 2.5 \times 10 = 25 \quad [\text{mm}] \quad \text{عرض الترس الأول:}$$

$$d_o = z_i \times m_{gew} \quad \dots (8) \quad \longrightarrow \quad d_{o1} = 39 \times 2.5 = 97.5 \quad [\text{mm}]$$

الجدول (6): النتائج المتحصل عليها بالنسبة للأقطار، المقننات وعروض التروس.

الترس	z	m_{gew}	d_o	b
Z1	39	2.5	97.5	25
Z2	58	2.5	145	25
Z3	48	2.5	120	25
4Z	49	2.5	122.5	25
Z5	39	3	117	30
Z6	111	3	333	30

رابعاً- تحديد المسافة بين محاور الأعمدة:

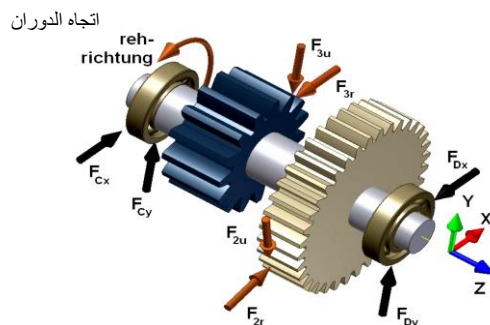
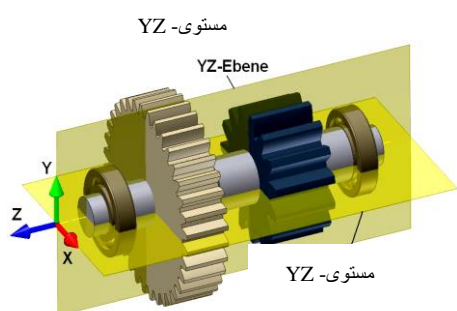
- المسافة بين محوري العمود الأول والثاني: - المسافة بين محوري العمود الثاني والثالث:

$$a_{2,3} = \frac{117 + 333}{2} = 225 \quad [\text{mm}]$$

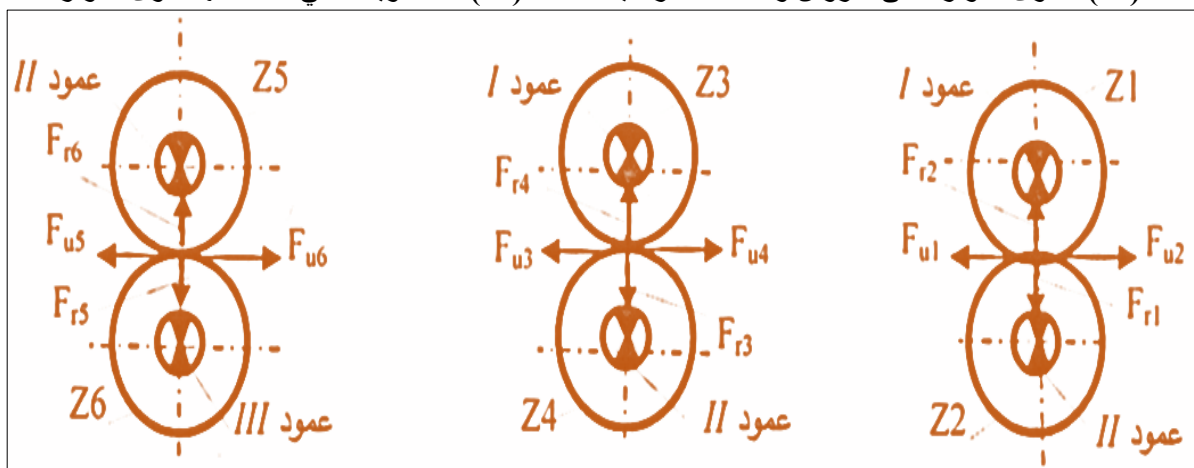
$$a_{1,2} = \frac{97.5 + 145}{2} = 121.25 \quad [\text{mm}]$$

خامساً- تقدير القوى المؤثرة على التروس:

مبدئياً نحتاج في هذه الحالة لمعرفة المعطيات والبيانات المتعلقة بكل من: أقطار التروس عند نقطة التدرج d_o ، القوى الشعاعية والقوى المحيطة المؤثرة على التروس. الشكلان (11) و (12) يوضحان بشكل عام القوى المؤثرة على التروس والمحامل والمستويات التي تعمل منها في ثلاثة أبعاد، أما الجدول (7) فيعرض النتائج المتحصل عليها من الحسابات.



الشكل (11): القوى المؤثرة على التروس والمحامل- فراغيا. الشكل (12): المستويات التي تعمل منها القوى المؤثرة.



الشكل (13): القوى المحيطة (F_u) والقوى الشعاعية او نصف القطرية (F_r) المؤثرة على التروس من المستويات المختلفة.

- العلاقات الرياضية لتقدير القوى المؤثرة على التروس:
- القوة المحيطة:

$$F_u = \frac{2 \times M_t \times 10^3}{d_0} \quad \text{..(9)}$$

$$F_r = F_u \times \tan \alpha \quad \text{..(10)} \quad ; \quad \alpha = 20^\circ$$

$$F_{u1} = \frac{2 \times 78 \times 10^3}{97.5} = 1600 \text{ [N]}$$

$$F_{r1} = 1600 \times \tan 20 = 582.35 \text{ [N]}$$

- القوة الشعاعية (نصف قطرية):

- القوة المحيطة المؤثرة على الترس الأول:

- القوة الشعاعية المؤثرة على الترس الأول:

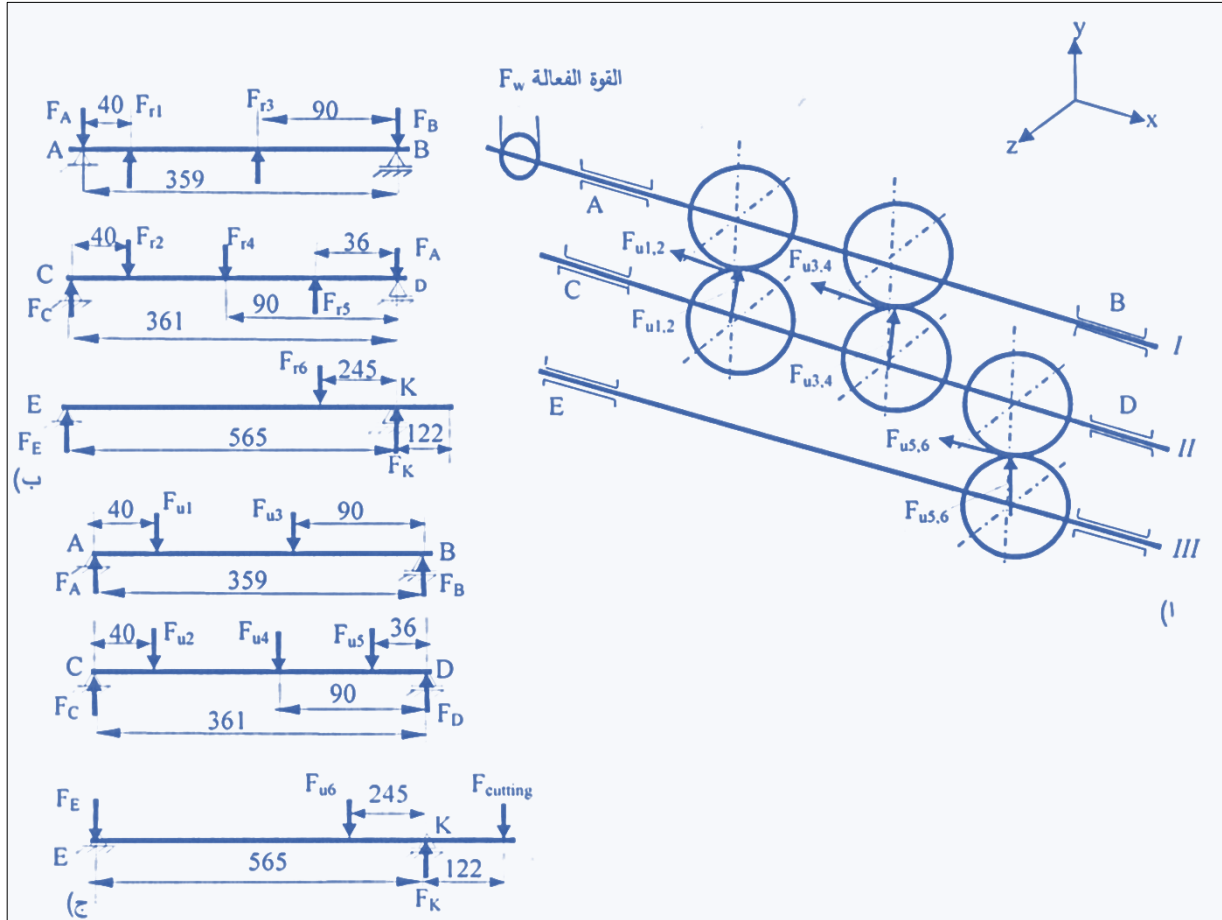
الجدول (7): ملخص النتائج المتحصل عليها للقوى المؤثرة على التروس.

F_r	F_u	d_0	M_t	الأعمدة
582.35	1600	97.5	78	F_{u1} I/II
557.95	1532.96	145	111.14	F_{u2}
473.16	1300	120	78	F_{u3} I/II
660.43	1814.53	122.5	111.14	F_{u4}
1382.96	3799.66	117	111.14	F_{u5} II/III
1098.49	3018.08	333	502.51	F_{u6}

11.2.4. القوى المؤثرة على المحامل [2]: [7]

انطلاقاً من القوى المحورية، المسافة بين المحامل والتروس والمسافة بين المحامل، ومن خلال شروط الاتزان الاستاتيكية $\sum M_A = 0$ و $\sum F_y = 0$ جرى تحديد مركبات قوى المحمل F_{Ax} و F_{Bx} الواقعة في المستوى XZ . ويتوجب في هذه الحالة مراعاة مركبات قوى التروس الواقعة أيضاً في المستوى المذكور XZ . وبنفس الطريقة تم تحديد المركبات F_{Ay}

و F_{By} الواقعة في المستوى YZ . ومن القوتين F_{Ax} و F_{Ay} جرى بعد ذلك تحديد قوة المحمل F_A المحصلة، حيث: $(F_A = \sqrt{F_{Ax}^2 + F_{Ay}^2})$. بنفس الأسلوب تم تقدير F_B من F_{Bx} و F_{By} ، وهكذا على نفس المنوال بالنسبة للمحمل الأخرى عند طرفي الأعمدة، الشكل (14) يوضح القوى المؤثرة على المحامل والجدول (8) يلخص النتائج المتحصل عليها لتلك القوى.



أ: النظام الفراغي للقوى، ب: المستوى $X-Y$ ، ج: المستوى $X-Z$
 الشكل (14): القوى المؤثرة على المحامل.

الجدول (8): نتائج تقدير القوى المؤثرة على المحامل (القوى بالنيوتن).

المحصلة	مستوى $Z-X$	مستوى $Y-X$
$F_A \text{ res.} = \sqrt{F_{Ay}^2 + F_{Az}^2} = 2082.7$	$F_{Az} = 1957.1$	$F_{Ay} = 712.3$
$F_B \text{ res.} = \sqrt{F_{By}^2 + F_{Bz}^2} = 1373.3$	$F_{Bz} = 1290.5$	$F_{By} = 469.7$
$F_C \text{ res.} = \sqrt{F_{Cy}^2 + F_{Cz}^2} = 2341.4$	$F_{Cz} = 2245.6$	$F_{Cy} = 662.9$
المحصلة	مستوى $Z-X$	مستوى $Y-X$
$F_D \text{ res.} = \sqrt{F_{Dy}^2 + F_{Dz}^2} = 3632.3$	$F_{Dz} = 3631.7$	$F_{Dy} = 72.71$
$F_E \text{ res.} = \sqrt{F_{Ey}^2 + F_{Ez}^2} = 2884.3$	$F_{Ez} = 2853.9$	$F_{Ey} = 417.9$
$F_K \text{ res.} = \sqrt{F_{Ky}^2 + F_{Kz}^2} = 22171.5$	$F_{Kz} = 22169.2$	$F_{Ky} = 320.0$

1.11.2.4. الأسلوب المنهجي لاختيار المحامل [2]

حساب القوى المؤثرة على المحامل (وبالتحديد محامل العمودين I و II والترسين السائبين 2 و 4) جرى بناءً من الأحمال المسلطة على أعمدة الإدارة. عند اختيار المحامل يجب، إلى جانب قطر العمود وقدرة التحمل، مراعاة العديد من المعايير والجوانب التصميمية أيضاً.

- اختيار المحامل للعمود الأول I:

$$F_W = F_A = (1.5 \dots 2)F_u \quad \dots(11) \quad F_W = 2 \times 1113.64 = 2227.27 \quad [N]$$

$$C_{erf} = \frac{f_L \times F_W}{f_H \times f_n} = \frac{2.71 \times 2227.27}{1 \times 0.195} = 30953.34 \quad N \quad \dots(12)$$

$$n = 4500 \text{ [rpm]}; \quad d_{w1} = 40 \text{ [mm]}; \quad L_h = 10000 \text{ [h]}; \quad f_n = 0.195; \quad f_H = 1; \quad f_{LK} = 2.71$$

$$C = 28500 \text{ [N]}; \quad C_0 = 145000 \text{ [N]}; \quad D = 100 \text{ [mm]}; \quad B = 20 \text{ [mm]}$$

حيث: C_{erf} قدرة تحمل المحمل المطلوبة، C المعامل الديناميكي لقدرة المحمل، C_0 المعامل الاستاتيكي لقدرة المحمل، F_1 القوة الشعاعية (تمثلها قوة القطع F_c)، F_a القوة المحورية (تمثلها قوة التغذية F_f)، L_h العمر التصميمي الافتراضي للمحمل (بالساعات)، f_n معامل عدد اللفات، f_H معامل الصلادة، f_{LK} معامل التدرجية بأجسام كروية.

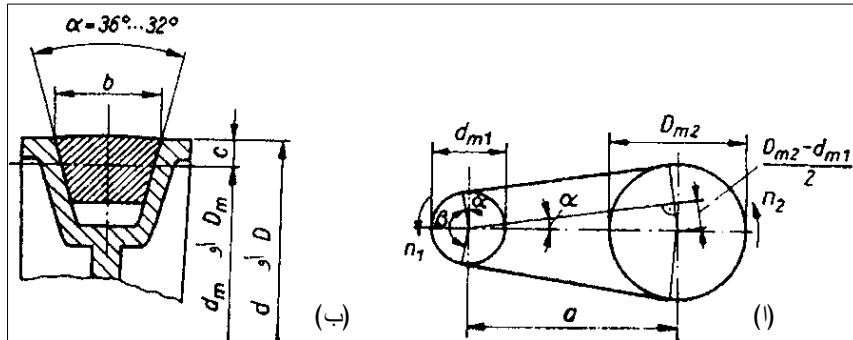
اعتماداً على النتيجة المتحصل عليها تم اختيار المحمل التدرجي رقم 6010 حسب المواصفة الألمانية DIN 628 (TGL 2982). المحامل الأخرى المختارة مدرجة في الجدول (9).

الجدول (9): المحامل المختارة للعمود الأول، الثاني والمحامل السائبة.

عرض المحمل B	القطر الخارجي للمحمل D	معامل التحمل الديناميكي C	محامل نصف قطرية بأجسام كروية	أعمدة الإدارة
25	100	39500	6407	عمود I
27	110	50000	6408	عمود II
16	80	18100	6010	المحامل السائبة

12.2.4. الحسابات الفنية لتحديد سيور- Vee لنقل الحركة [8]

من ضمن مزايا استخدام سيور نقل الحركة/ مخروطية المقطع إنها تعمل على: خمد الاهتزازات، امتصاص الصدمات وحماية المحرك والآلة من الأحمال الزائدة فضلاً عن أنها لا تحتاج سوى لحد ادنى من الصيانة فقط، الشكل (15).



الشكل (15): مبدأ الإدارة بالسيور- تخطيطياً (أ)، المقطع الجانبي (الجانبي) لسير نقل الحركة (ب).

الحسابات الفنية تجري وفقاً للخطوات التالية:

$$1- \quad P = 24.5 \text{ kW}, \quad n_1 \text{ للبيكرة } = 1, \quad n_2 \text{ للبيكرة } = 1$$

$$2- \quad \text{نسبة نقل الحركة } i: \quad n_1 = n_2 = 3000 \text{ min}^{-1} \quad \dots(13)$$

3- القطر الفعال للبيكرة 1:

$$d_{w1} = \frac{v}{\pi \times n_1} = \frac{20 \frac{m}{s}}{\pi \times 3000 \text{ s}^{-1}} = \frac{20 \frac{m}{s}}{\pi \times 50 \text{ s}^{-1}} = 0.127 \text{ [m]} = 127 \text{ [mm]} \quad \dots(14)$$

$$4- \quad \text{القطر الفعال للبيكرة 2:} \quad d_{w2} = i \times d_{w1} = 127 \text{ [mm]} \quad \dots(15)$$

5- القطر الفعال المختار يساوي 140 مم لكل بكرة حسب المواصفة القياسية الألمانية DIN 2217.

6- السرعة المحيطية v : $v = \pi \times d_{w1} \times n_1 = \pi \times 0.14 \text{ m} \times 50 \text{ rps} = 21.99 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$..(16)

7- المسافة بين محوري البكرتين a :

0.7(d_{w1} + d_{w2}) < a < 2(d_{w1} + d_{w2}) ..(17)

0.7(118 + 118) < a < 2(118 + 118) [mm] = 184.8 < a < 528 [mm]

a = 400 [mm] (اختياراً)

8- الطول الفعال للسير (L_w):

$L_w = 2a + 1.57 (d_{w2} + d_{w1}) + \frac{(d_{w2} - d_{w1})^2}{2a} = 800 + 439.6 = 1239.6 \text{ [mm]}$..(18)

9- الطول الداخلي للسير (L_i):

$L_i = L_w - 2\pi h_{wi} = 1239.6 - 45 = 1194.6 \text{ [mm]}$..(19)

الارتفاع الفعال $2\pi h_{wi} = 45$ ، من الجدول (10). تم اختيار الطول الداخلي $L_i = 1180 \text{ mm}$ من المواصفة القياسية الألمانية DIN 7753.

10- اختيار العدد التصميمي النهائي من السيور Z_R :

$Z_R = \frac{z'_R}{k_4} = \frac{3.84}{0.90} = 3.45$..(20)

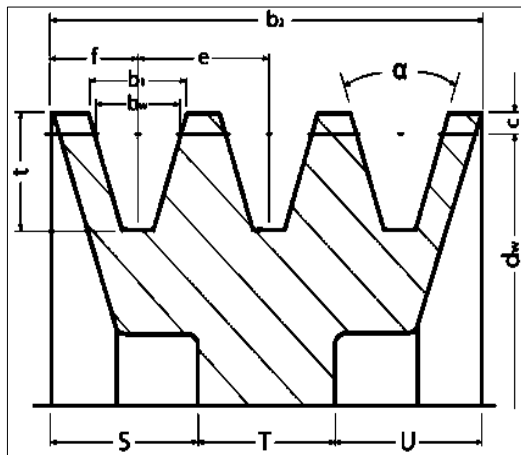
اختياراً $Z_R = 4$

حيث: k_4 معامل طاقم السيور ويساوي 0.90 ، z'_R عدد السيور المؤقت (المرحلي) ويساوي 3.84

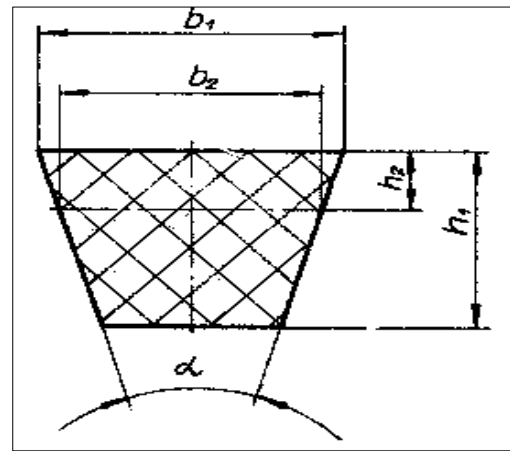
بدا تم، بالنسبة للقدرة $P = 24.5 \text{ kW}$ المزمع نقلها وعدد اللفات $n = 3000 \text{ min}^{-1}$ ، اختيار السيور المطلوبة المتميزة بالجانبية نوع SPA وذلك طبقاً للتوصيف القياسي التالي: SPA × 1180 DIN 7753-4. مقاسات السيور وبكرات السيور كما هو موضح في الشكل (16) والجدول (10).

الجدول 10. مقاسات السيور (DIN 7753) وبكرات السيور (ISO 4184/ DIN 2211)، المقاسات بالمم

بكرات السيور المصنوعة من حديد الزهر GG 20						السيور- مخروطية المقطع من النوع "رقيقة" SPA							
b ₁	t	a	e	f	α	b	h	b _w	h _w	2πh _{wi}	A	d _w min	q
13	15	22	16	10	36°	12.5	10	11	2.8	45	89	90	0.13



(ب)



(ا)

الشكل (16): مقاسات السير Vee/ مخروطية المقطع (ا)، ومقاسات البكرة المخصصة له (ب).

1.12.2.4. القوى المؤثرة على السيور:

$$F_u = \frac{P_1}{v} = \frac{24.5 \text{ kW}}{22 \text{ m/s}} = 1113.64 \text{ [N]} \quad \dots(21)$$

القوة المحيطة F_u :

$$F_w = (1.5 \dots 2) F_u$$

القوة الفعالة F_w :

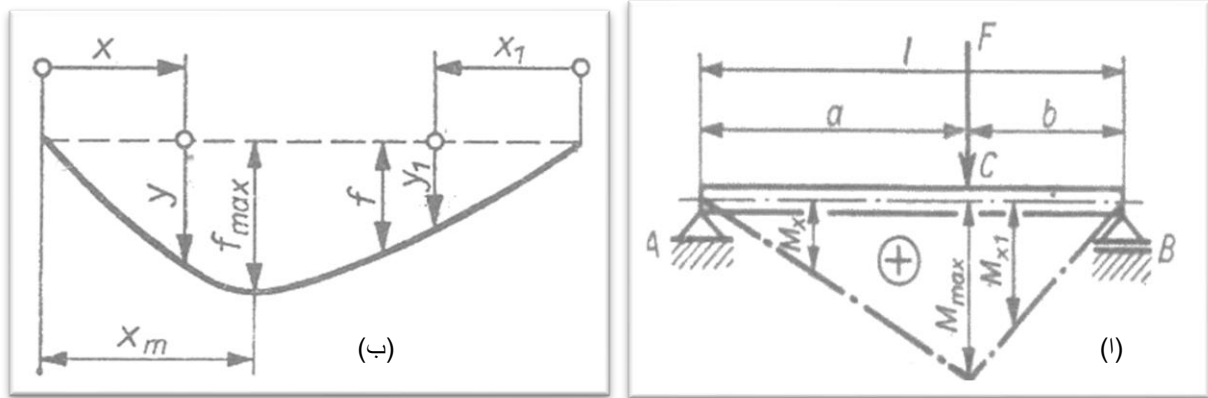
$$F_w = 2 \times 1113.18 = 2227.27 \text{ [N]}$$

2.12.2.4. اختيار المحامل المطلوبة لبكرات السيور:

حساب المحامل واختيارها جري طبقا للخطوات الواردة في الفقرة (1.11.2.4). وقد تم بناء على المواصفة القياسية الألمانية DIN 625 (TGL 2981) اختيار المحمل نوع 6407.

13.2.4. الانحناء في أعمدة الإدارة [7]

تحديد الانحناء الذي يحدث عموما لأعمدة الإدارة (كما في الشكل 17) من الممكن ان يتم رياضيا او بيانيا. القيم المسموح بها بالنسبة للانحناء في أعمدة الإدارة تحكمه العلاقة: $f_{zul} = (0.005 - 0.01) \times m$ ، أما زاوية ميلان العمود عند المحامل (في حالة استعمال المحامل التدرجية) فهي: $\beta_{zul} = 3.5'$. نتائج انحناء الأعمدة مدرجة في الجدول (11).



الشكل (17): مخطط بياني للانحناء في أعمدة الإدارة [6].

• العلاقات الرياضية العامة لتحديد الانحناء في الأعمدة هي كالتالي:

$$f = \frac{F \times a^3}{6EI} \frac{b^2}{l^2} = \frac{F_u}{3E} \frac{a^2}{l^2} \frac{b^2}{l^2} \quad \dots(22)$$

- مقدار الانحناء f :

$$F_B = F \frac{a}{l} \quad F_A = F \frac{b}{l} \quad \dots(23)$$

- قوتي الارتكاز عند A و B:

- موضع الانحناء على العمود (عند المسافة x):

$$y = \frac{Fl^3}{6EI} \frac{a}{l} \frac{b^2}{l^2} \frac{x}{l} \left(1 + \frac{l}{b} - \frac{x^2}{ab}\right) = \frac{F_u}{6EI} \frac{a}{l} \frac{b^2}{l^2} \frac{x}{l} \left(1 + \frac{l}{b} - \frac{x^2}{ab}\right) \quad \dots(24)$$

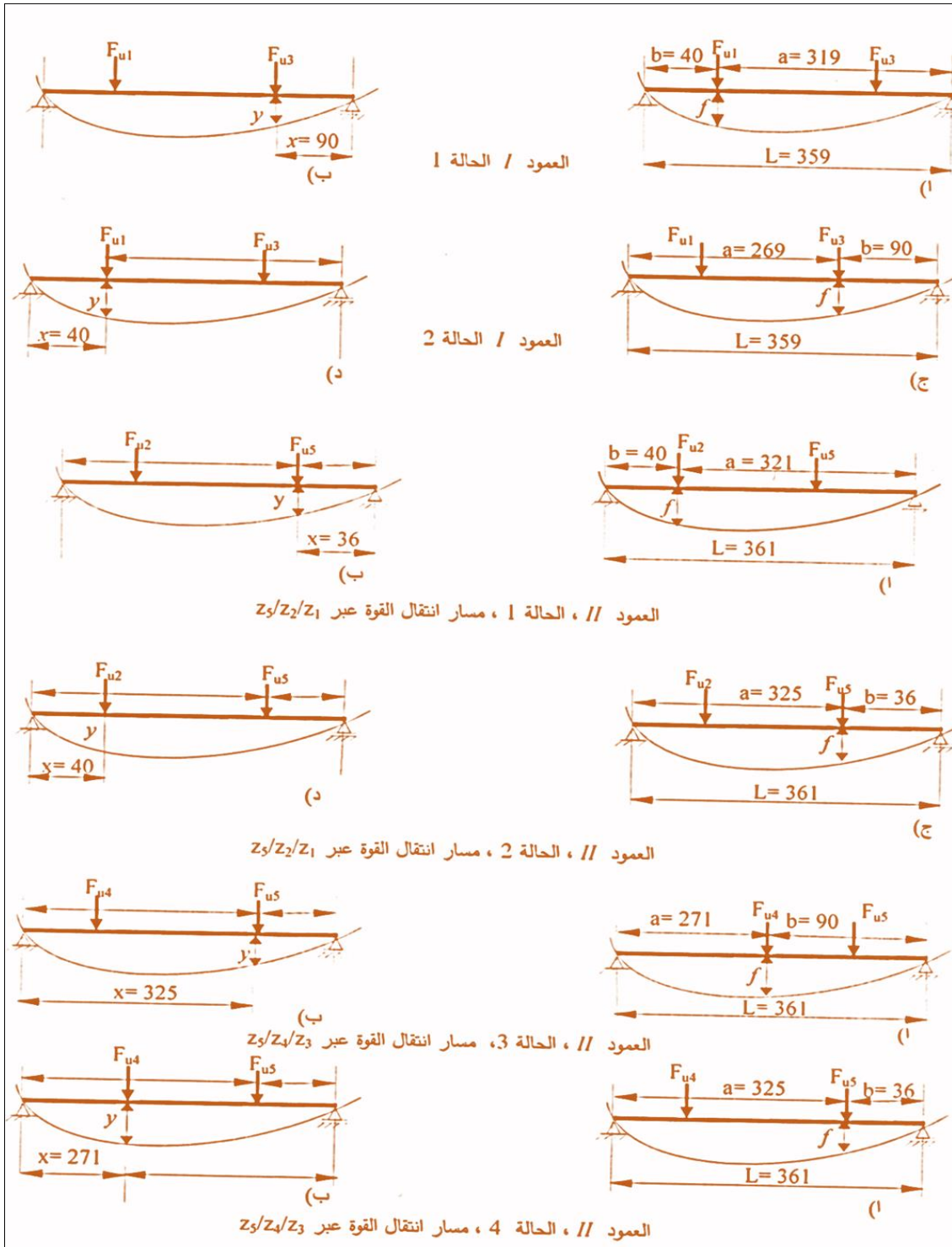
حيث: I عزم القصور الذاتي $d^4 \times \frac{\pi}{64}$ ، $I_x = I_y = \frac{\pi}{64} \times (d_a^4 - d_i^4)$ ، $E = 200 \text{ GPa}$ (معامل المرونة للفولاذ DIN 17458)

الجدول (11): النتائج المتحصل عليها بالنسبة لانحناء الأعمدة.

المجموع Σ	الانحناء في العمود الأول I: القطر $d_w = 40 \text{ mm}$	
1.47 μm	$f_{u1II} = 0.97 \mu\text{m}$	$f_{u1I} = 0.5 \mu\text{m}$
13 μm	$f_{u3II} = 10.5 \mu\text{m}$	$f_{u3I} = 2.5 \mu\text{m}$
مسار انتقال القوة عبر: Z5/Z2/Z1	الانحناء في العمود الثاني II: القطر $d_w = 50 \text{ mm}$	
2.26 μm	$f_{u2II} = 1.73 \mu\text{m}$	$f_{u2I} = 0.53 \mu\text{m}$
3 μm	$f_{u5II} = 0.5 \mu\text{m}$	$f_{u5I} = 2.5 \mu\text{m}$
مسار انتقال القوة عبر: Z5/Z4/Z3		
26.97 μm	$f_{u4II} = 14.5 \mu\text{m}$	$f_{u4I} = 12.47 \mu\text{m}$
7.54 μm	$f_{u5II} = 0.54 \mu\text{m}$	$f_{u5I} = 7 \mu\text{m}$

- تقدير الانحناء للعمود الأول: بناء على الشكل (18) نتحصل على الآتي:

$$f_{u1I} = \frac{F_{u1}l^3}{3EI} \frac{a^2}{l^2} \frac{b^2}{l^2} = \frac{1600 \text{ N} \times 359^3 \text{ mm}^3}{3 \times 200000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 40^4 \text{ mm}^4} \times \frac{319^2 \text{ mm}^2}{359^2 \text{ mm}^2} \times \frac{40^2 \text{ mm}^2}{359^2 \text{ mm}^2} = 0.47 \text{ } [\mu\text{m}]$$



الشكل (18) : مخططات لانحناء في العمود I والعمود II.

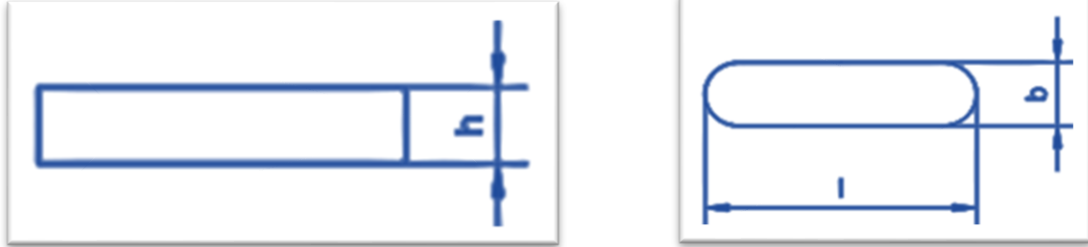
13.2.4. الحسابات الفنية لتحديد الخوابير [7]

حساب أطوال الخوابير المطلوبة (كما في الشكل 19 والجدول 12) تم بناءً على: عزم اللي M_t ، قطر العمود d_w والكبس المسموح به p_{zul} وذلك وفقاً للعلاقات التالية:

$$p_{zul.} = \frac{\sigma_{s,min}}{S_F} \quad ..(25)$$

$$L_1 = L_{1,I} + b \quad ..(26)$$

$$L_{1,I} = \frac{2 \times M_t \times 10^3}{d_w \times P_{zul.} \times H_1} \quad ..(27)$$



الشكل (19): الأبعاد القياسية للخابور.

الجدول (12): الأطوال القياسية للخوابير المطلوبة.

عامل الأمان S_F	إجهاد (حد) الخضوع σ_s	مادة التصنيع	الجزء
1.3 ... 2	700 MPa	20MnCr5	التروس
	340 MPa	St 60	الأعمدة
	340 MPa	St 50 K	الخوابير
الاطوال المختار L_{gew} التوصيف القياسي للخابور			الأعمدة
A14 x 9 x 50 DIN 6885		،50 mm	العمود I
A14 x 9 x 50 DIN 6885		،50 mm	العمود II
A20 x 12 x 70 DIN 6885		،70 mm	العمود III

14.2.4. تحديد المقاسات التصميمية لعمود التدوير الرئيسي للمخرطة [2]

أولاً- القطر، الطول والمسافة بين المحامل: الشكل (20)

تحديد قطر عمود التدوير الرئيسي يعتمد على الأقطار المطلوبة للمحامل الشعاعية والمحورية في المحمل الرئيسي. تحديد أقطار أعمدة التدوير المرتكزة على المحامل التدرجية يتم بناء على أكبر القيم للقوى (المحورية، الشعاعية) المؤثرة على شفة عمود التدوير- من خلال ما يعرف باسم قدرة التحمل الديناميكية للمحمل، حيث تسرى العلاقات التالية:

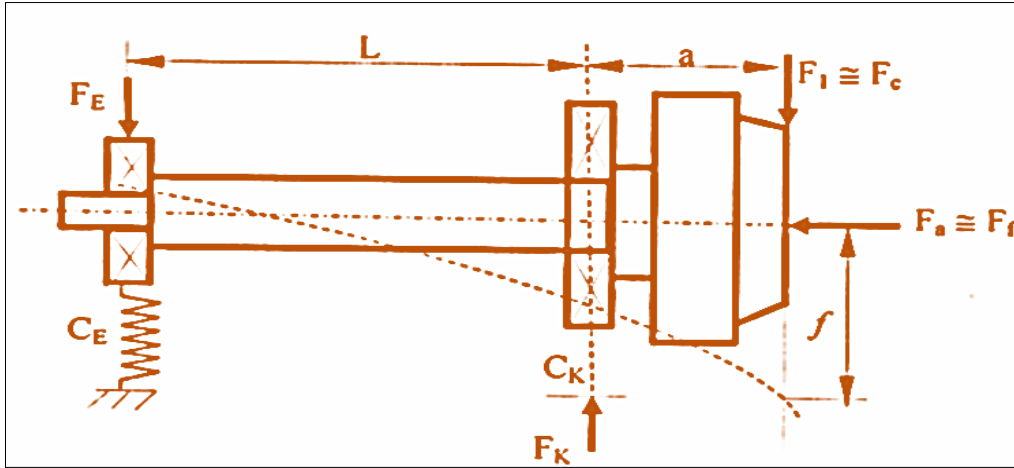
$$C_{erfF1} = F_1 \left(\frac{3n_{max}L_h}{50000} \right)^{3/10} \left[\left(\frac{a}{l} \right)_{min} + 1 \right] = 96010 \text{ N} \quad ..(28)$$

$$C_{erfFa} = F_a \left(\frac{3n_{max}L_h}{50000} \right)^{1/3} \quad ..(29) \quad \text{- المحامل المحورية بأجسام كروية:}$$

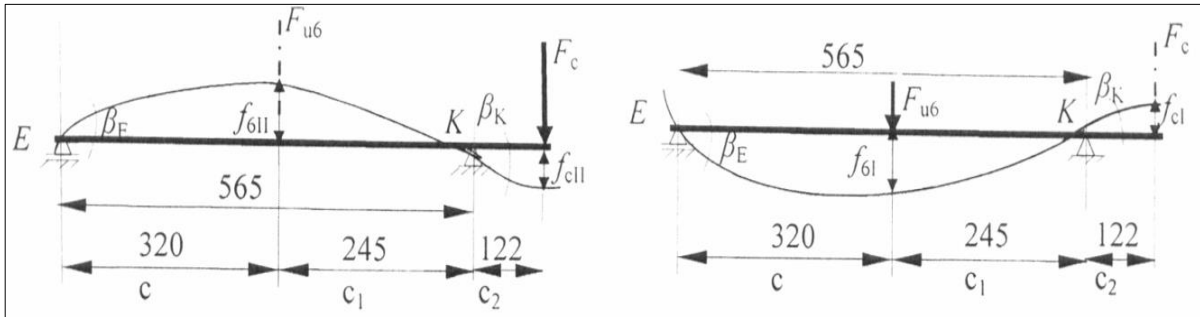
C_{erf}	$F_{1/a}$	n_{max}	L_h	a	l
N	N	rpm	h	mm	mm

الجدول (13): المحامل المختارة لعمود التدوير الرئيسي.

L_h h	n rpm	(F _f) F _a N	(F _c) F ₁ N	(H) B أو mm	D mm	C N	أنواع المحامل
20000	1592	1812	17288	74	280	450000	المحمل الشعاعي (محمل بأجسام أسطوانية، بصفين)
20000				51	225	198000	المحمل المحوري (محمل بأجسام كروية)
20000				40	150	120000	المحمل الطرفي/ الخلفي (محمل بأجسام أسطوانية)



الشكل (20): المسافة بين المحامل والتشوه في عمود التدوير الرئيسي.



الحالة الأولى: الحمل الواقع على العمود من تأثير القوة المحيطية F_{u6} الانحناء يكون في المستوى الذي تعمل منه القوة المحيطية F_{u6}
 الحالة الثانية: الحمل الواقع على العمود من تأثير قوة القطع F_c الانحناء يكون في المستوى الذي تعمل منه قوة القطع F_c

الشكل (21): الانحناء في عمود التدوير الرئيسي.

ثانياً- تقدير الانحناء في عمود التدوير الرئيسي^[2]
 الحالة الأولى: الانحناء الناتج في المستوى الذي تعمل منه القوة F_{u6} ، الشكل (21)، الجدول (14)

$$f_{u6l} = \frac{F_{u6} \times c^2 \times c_1^2}{3EI} = \frac{3328.48 \text{ N} \times 317.5^2 \text{ mm}^2 \times 242.5^2 \text{ mm}^2}{3 \times 200000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 8625605 \text{ mm}^4 \times 563 \text{ mm}} = 0.0068 \mu\text{m} \quad \dots(30)$$

- الميلان (زاوية الميل) في المحمل K:

$$\tan \beta_{K1} \approx \beta_{K1} = f_{u6l} \times \frac{1 + \frac{l}{c_1}}{2c_1} = 4.65 \times 10^{-8} \quad \dots(31)$$

- الانحناء في المستوى الذي تعمل منه القوة F_c :

$$f_{c1} = c_2 \times \tan \beta_{K1} = 1.49 \times 10^{-5} \quad \dots(32)$$

الحالة الثانية: الانحناء في المستوى الذي تعمل منه القوة F_{u6}

$$f_{u6II} = -\frac{F_c \times l \times c_2 \times c}{6EI} \left(1 - \frac{c^2}{l^2}\right) = -\frac{1211.64 \text{ N} \times 565 \text{ mm} \times 122 \text{ mm} \times 317.5 \text{ mm}}{6 \times 200000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 8625605 \text{ mm}^4} \left(1 - \frac{320^2 \text{ mm}^2}{565^2 \text{ mm}^2}\right) = 0.00714 \mu\text{m} \quad \dots(33)$$

- الانحناء في المستوى الذي تعمل منه القوة F_c :

$$f_{cII} = -\frac{F_c \times l \times c^3}{3EI} \left(1 + \frac{c^2}{l}\right) = 6.5677 \mu m \quad ..(34)$$

$$\left. \begin{aligned} f_6 &= f_{u6I} + f_{u6II} = 0.0139 \mu m \\ f_c &= f_{cI} + f_{cII} = -6.5667 \end{aligned} \right\} ..(35)$$

حيث: عزم القصور الذاتي للعمود هو $I_x = I_y = \frac{\pi}{64} \times (d_a^4 - d_i^4) = 8625605 \text{ mm}^4$ ، القطر الخارجي للعمود: $d_a = 120 \text{ mm}$ ، القطر الداخلي للعمود: $d_i = 75 \text{ mm}$

الجدول (14): نتائج الحسابات الفنية لتقدير الانحناء في عمود التدوير الرئيسي.

المجموع Σ	الحالة 2	الحالة 1
$f_6 = 0.0139 \mu m$	$f_{6II} = 0.00714 \mu m$	$f_{6I} = 0.0068 \mu m$
$f_c = -6.5677 \mu m$	$f_{cII} = -6.5677 \mu m$	$f_{cI} = 0.000049 \mu m$

15.2.4. عملية التزليق وإحكام الإغلاق لمنع التسريب

عند الجوانب الخارجية لعمود التدوير الرئيسي وكذلك المحمل الخلفي تم وضع موانع التسرب للحيلولة دون خروج مواد التزليق من المحامل وتسربها ولمنع المواد الملوثة من الدخول إليها. الزيوت المعدنية هي مادة التزليق المستخدمة في هذه الحالة لمنع التسرب وإحكام الأغلاق عند منفذ المحامل الأمامية الرئيسية لعمود التدوير الرئيسي تم اختيار وتركيب موانع التسرب المتأهية (اللابرنثية)، أما عند المحامل الخلفية فتم اختيار وتركيب موانع التسرب الشعاعية (نصف قطرية).

16.2.4. التجميع:

عملية التجميع في مجال صناعة الآلات تمثل مجموع كافة مراحل العمل اللازمة لربط الأجزاء المفردة التي تم إنجازها وفقاً لتتابع أو تسلسل مرحلي محدد وذلك بهدف إنتاج جهاز أو آلة معينة تتولى مهمة تنفيذ جميع المتطلبات المفروضة عليها بشكل كامل وتام [9]. في مرحلة التصميم تم اتخاذ العديد من القرارات الحاسمة التي كان لها لاحقاً القول الفصل في عملية التجميع. بناء على ذلك توجب علينا، من المرحلة التصميمية، التفكير والتعامل من البداية مع مسألة التجميع وذلك لتأمين الصياغة التصميمية للمكونات التي تجعلها مسبقاً مناسبة لعملية التجميع. وعملية التجميع تمت وفقاً للتتابع المرحلي المتسلسل التالي:

- 1- في عمود الإدارة الأول I أقتُرحت جُلبة خاصة لتسهيل عملية التجميع، حيث يجرى مسبقاً- خارج نطاق الصندوق- تثبيت المحامل، حلقات التأمين، جُلبة المبادعة عليها ليتم بعد ذلك تركيبها ووضعها كمجموعة أو تجميعاً مدمجة فيه.
- 2- تأمين التروس، القابض، والمحامل، حسب ما يتطلب الغرض، بواسطة حلقات التأمين. وكذلك تأمين جُلب المبادعة والأغطية من الانزياح المحوري أيضاً.
- 3- في عمود الإدارة الثاني II تم أيضاً وضع جُلبة خاصة، مهمتها تتمثل في حمل المحمل السائب، حيث يمكن بذلك زحزحة الترس 5 محورياً خلال العمود.
- 4- عند تجميع عمود التدوير الرئيسي جرى تنسيق مكوناته الرئيسية وترتيبها عليه وراء بعضها البعض ثم بعد ذلك إدخاله وحشره كمجموعة مُجمعة داخل صندوق السرعات.
- 5- الانتقالات المتدرجة في أقطار عمود التدوير قد صممت، لتسهيل عملية التجميع، بالشكل الذي يجعل القطر المقترح لتثبيت المحمل الرئيسي يمتد قدر الإمكان عبر أكبر طول من أطوال عمود التدوير الرئيسي.
- 6- تم في التصميم مراعاة القطر المحدد للتجويف المطلوب داخل عمود التدوير وأخذ بعين الاعتبار
- 7- الإمكانيات المتاحة لضبط الخلوصات أثناء التجميع من خلال:

- الانزياح المحوري للحلقات الداخلية والخارجية (تحديداً في حالة المحامل المائلة بأجسام كروية، المحامل المخروطية بأجسام أسطوانية)
- التشوه المرن لإحدى حلقات المحامل التدريجية (محمل بأجسام أسطوانية وتجويف مخروطي)
- الجُلب والصواميل المكددة المقترحة لضبط الخلوص.
- ولأجل عملية تجميع فعالة وهادفة فقد جرى إعداد قائمة الأجزاء بحيث تكون موافقة ومتطابقة مع التتابع المرحلي المتسلسل لتجميع المكونات مع بعضها، الملاحق (3;2;1).

5. الاستنتاجات الختامية

عملية التصميم شملت الأعمال والأنشطة الذهنية التي انطلقت مبدئياً من مقترح المهمة التصميمية، التي تعتبر واحدة من مهام البحث التخصصية في مجال الصناعات المعدنية والمتعلقة عموماً بإنتاج قطعة معدنية محددة، لتفضي في النهاية إلى الحل التصميمي المطلوب لإنتاج القطعة المذكورة. محتوى نتائج الحل التصميمي النهائي ما هو، في نهاية عملية التطوير التصميمية، إلا وثيقة فنية تتكون من ملاحق عدة تضم كل من: الرسومات الفنية، مخططات العمل البيانية، الرسومات التخطيطية، المستندات المتعلقة بعمليات الحساب الفنية والوثائق النصية المكتوبة.

إن عمليات التدقيق، الدراسات التحليلية لمشكلة التصميم، تحديد الحل المناسب من بين الحلول المتاحة وكذلك عمليات التقييم الدقيق واتخاذ القرار كانت دائماً الأفكار الأساسية التي تم الاعتماد عليها والتعامل معها ذهنياً وتخطيطياً.

هذه الورقة استعرضت المسار التكنولوجي والمسار التصميمي فيما يخص عمليتي الإنتاج والتصميم، وقد تم فيها، طبقاً للمتطلبات المفروضة على المشغولة المطلوب إنتاجها، تحديد كل من: طرق التشغيل، آلة التشغيل والجوانب التكنولوجية اللازمة لتشغيل المشغولة موضوع البحث، إذ تم بذلك اختيار عملية الخراطة، وكذلك عملية الخراطة الدقيقة (أو التجليخ) لتحقيق نعومة السطح المطلوبة. ولقد تم اعتبار أن آلة الخراطة شاملة الأغراض هي المناسبة لإنجاز القطعة المطلوبة.

المقارنة بين الجوانب الفنية والاقتصادية للصور المختلفة المقترحة للحل قد أفضت إلى اعتماد الحل البديل الأول وتنفيذه تصميمياً. المتطلبات المتعلقة بالأتمتة وزيادة الإنتاجية تم تحقيقها من خلال اختيار أحد محركات التيار المستمر لإدارة صندوق السرعات الرئيسي، أما تجسيد النطاق المطلوب لضبط عدد اللغات فقد تحقق من خلال الجمع بين خصائص المحرك والمواد الفنية لصندوق التروس والتوفيق بينها.

من خلال الضبط الأوتوماتيكي للمحرك من جهة وبواسطة أحد القوابض وإدارة التروس الملحقة- ثنائية المراحل من جهة أخرى أضحت إمكانية تحقيق القيم التكنولوجية وتطبيقها بشكل مثالي، فضلاً عن إمكانية تغيير السرعات تحت الحمل أيضاً ممكنة ومناحة (صندوق سرعات بتروس دائمة التعشيق، مجهزة بقابض كهربائي لتغيير السرعات تحت الحمل). اختيار السيور بدلاً من الوسائل التقنية الأخرى لنقل الحركة واستخدامها في تحويل ونقل العزم جاء بسبب المزايا التي تتمتع بها (تخميد الاهتزازات، حماية المحرك). إحداث الشد المطلوب في السيور والتحكم فيه تحقق من خلال التصميم المميز الذي خصت به قاعدة تثبيت المحرك.

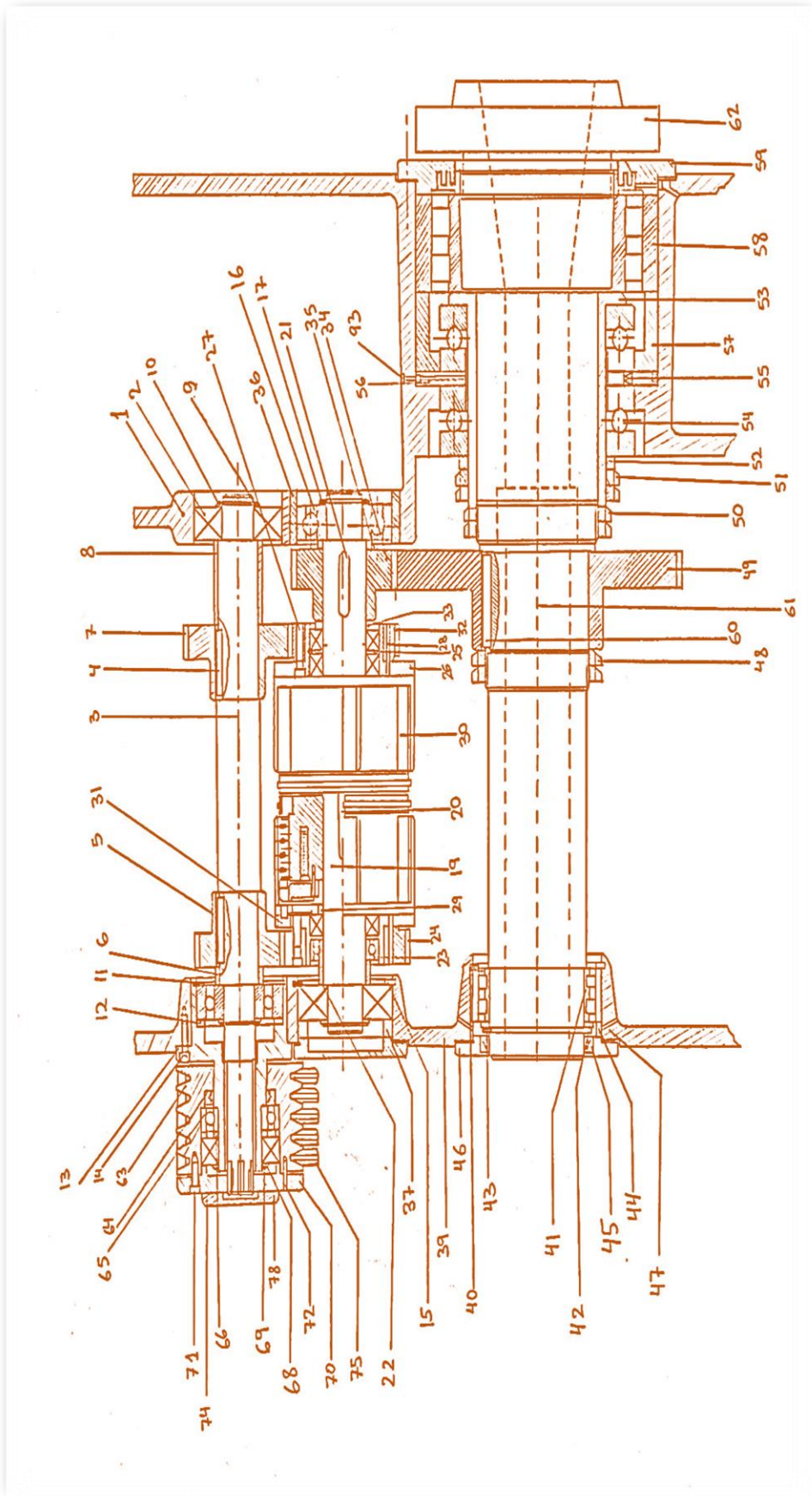
6. المراجع

- [1] Manfred Weck: Werkzeugmaschinen Fertigungssysteme; Automatisierung von Maschinen und Anlagen ; Springer Berlin, Heidelberg, 2013.
- [2] Manfred Weck; Christian Berecher: Werkzeugmaschinen- Konstruktion und Berechnung. Springer- Verlage Berlin Heiderberg; 2006.
- [3] Wolff-Dietcher Gloz: Wissensspeicher fuer die Berufsausbildung, Spannungstechnik, Verlage Technik Berlin 1982.
- [4] Degner, Lutze, Smejkal: Spanende Formung; Hanser Verlag, 2015 ; Germany.
- [5] Fritz Kloocke und Christian Brecher: Zahnrad- und Getriebetechnik: Auslegung – Herstellung – Untersuchung – Simulation; Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG; München; 2017.
- [6] Fronius, S.: Konstruktions-lehre, Antriebs-elemente, VEB Verlag Technik, Berlin, 1997.
- [7] Wolfgang Böge ; Heinz Wittig: Arbeitshilfen und Formeln für das technische Studium 3; Vieweg+Teubner Verlag Wiesbaden; 1999.
- [8] Getriebetechnik Leit-faden; Autornkollektive, Verlag Technik, Berlin 1985.
- [9] Fertigungsprozeßgestaltung im Maschinen- und Gerätebau; Schiffer, Tempelhof. Verlag Technik, Berlin 1989.

الملحق (1): قائمة الأجزاء الداخلة في تركيب صندوق السرعات.

5	4	3	2	1		
ملاحظات	توصيف الصنف	تسمية الصنف/ البند	العدد	ت		
	GGL 25	مبيت، صندوق	1	1		
	6407 DIN 625	محمل	2	2		
	St 50 K	عمود I	1	3		
St 50-2K فولاذ	A 12x8x50 DIN 6885	خابور	2	4		
	20 MnCr 5	ترس 1 - 97x2.5	1	5		
	40x14 -St	جلية	1	6		
	20 MnCr 5	ترس 3 - 120x2.5	1	7		
	40x65	جلية	1	8		
	35x45x2-DIN 988- St	قرص (حلقة) ضبط	2	9		
St فولاذ	35 DIN 0- 471	حلقة تأمين	2	10		
St	DIN 471-100	حلقة تأمين	1	11		
	100x5 -St	حلقة مبادعة	1	12		
	GGL 25	مغطى I	1	13		
منحرفة عن بعضها بزاوية 45°	DIN 912-M 8x22 -8.8	مسمار مقلوظ- برأس اسطواني	8	14		
St	DIN 471-110	حلقة تأمين	1	15		
St	DIN 7-10h9x160	مسمار اصبعي اسطواني	1	81		
	DIN 444-M24x120	مسمار مقلوظ عروي	1	82		
St	DIN 7-20h9x50	مسمار اصبعي اسطواني	1	83		
	DIN 934-M24 -8	صامولة مقلوظة- مسدسة الرأس	2	84		
St	DIN 125- 25xx44x4	قرص إحكام الربط	2	85		
	VEM DC motors; MFC 160 L2	محرك	1	86		
	DIN 931 -M8x50 -8	مسمار مقلوظ- مسدس الرأس	4	87		
	DIN 125- 8.4x 17x 2	قرص إحكام الربط	8	88		
	DIN 934- M8 -8	صامولة مقلوظة- مسدسة الرأس	4	89		
St	DIN 125-10.5x17x2.5	قرص إحكام الربط	1	90		
	DIN 931-M10x30 -8	مسمار مقلوظ- مسدس الرأس	1	91		
				92		
القائمة من 4 أوراق						
رقم الورقة 4					اليوم	الاسم
					أعدده	فحصه
	المواصفات					
		الإصدار	التعديل	اليوم		
				الاسم		

الملحق (2): صندوق التروس يظهر فيه عمود التدوير الرئيسي والمكونات الأخرى (المسقط الرئيسي).



الملحق (3): المحرك وآلية التعديل لضبط المسافة بينه وبين الإدارة (المسقط الجانبي).

